

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1

АБЛЯЦИЯ — МОЛИБДАТЫ

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
УКРАИНСКОЙ СОВЕТСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ
КИЕВ — 1977

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В двух томах



ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ ЭНЦИКЛОПЕДИИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ:

ФЕДОРЧЕНКО И. М.

(ответственный редактор)

БРАУН М. П.

ВОЛОЩЕНКО М. В.

ГРИДНЕВ В. Н.

ГРИНЕНКО Ю. А.

ЕРЕМЕНКО В. Н.

КАЗАНЦЕВ Б. А.

(ответственный секретарь)

ЛАЗАРЕНКО Е. К.

ЛАРИКОВ Л. Н.

МОВЧАН Б. А.

ПАНАСЮК В. В.

САМСОНОВ Г. В.

СКОРОХОД В. В.

ТРЕСВЯТСКИЙ С. Г.

ТРЕФИЛОВ В. И.

(заместитель ответственного
редактора)

ТРОЩЕНКО В. Т.

Э $\frac{30\ 107-000}{M222(04)-77}$ 470--77

Энциклопедия неорганических материалов (ЭНМ) в двух томах издается Главной редакцией Украинской Советской Энциклопедии по постановлению Президиума Академии наук УССР. Создание ЭНМ преследует цель удовлетворить в определенной степени все возрастающую потребность в энциклопедических изданиях, посвященных актуальным вопросам научно-технического прогресса, в частности проблемам материаловедения. В эпоху научно-технической революции ученые, творчески используя многовековой опыт, неустанно совершенствуют находящиеся в эксплуатации материалы, создают новые материалы с особыми свойствами. Эти материалы необходимы для атомной энергетики и строительства, машиностроения и космической техники, авиационной промышленности и приборостроения, транспорта и связи, сельского хозяйства и полиграфии. С ними связан труд конструкторов и инженеров, металлургов и экономистов. XXV съезд КПСС определил как одно из важнейших направлений научных исследований создание «новых конструкционных, магнитных, полупроводниковых, сверхпроводящих и других материалов, технически ценных кристаллов» (Материалы XXV съезда КПСС. М., 1976, стр. 214). Энциклопедия включает комплекс статей о различных неорганических материалах, используемых в технике, о методах их получения, о свойствах и методах контроля, а также сведения из физики твердого тела, физической химии, металлургии и материаловедения, необходимые для понимания путей возможного воздействия на свойства, условий использования и методов улучшения материалов.

Основное содержание ЭНМ составляет описание простых веществ, соединений (сложных веществ) и неорганических материалов. В статьях,

касающихся веществ и материалов, приведены характеристики и основные способы получения того или иного вещества (материала), области его применения. Среди материалов минерального происхождения описаны преимущественно те, которые используются для технических целей в исходном состоянии, а не служат сырьем для последующей переработки. Там, где это возможно, указаны ГОСТы или технические условия на материалы.

Значительное место в ЭНМ занимают статьи о химических элементах и их наиболее распространенных неорганических соединениях. В этих статьях приведены сведения, касающиеся истории открытия химического элемента (соединения), данные о его распространенности в природе, условиях образования и свойствах, об основных способах получения и областях применения.

В статьях о свойствах материалов проанализированы их зависимости от характерных параметров, даны характеристики того или иного свойства.

В большом цикле статей, касающихся вопросов металловедения, изложены условия образования, свойства и особенности различных структурных составляющих, приведены диаграммы состояния, указаны характерные особенности процессов кристаллизации веществ и т. п. ЭНМ содержит значительное количество статей об обработке материалов, приводящей к изменению их структуры, фазового и химического состава, конечных свойств. В них освещены физические и химические основы процессов обработки, их цель и основные отличительные особенности, приведены характеристики используемого оборудования.

Большое место в ЭНМ отведено статьям о создании неорганических покрытий и самих покрытиях. В этих статьях описаны принципы

получения покрытия, особенности их структурных составляющих, применяемых устройств и установок. Цикл статей посвящен вопросам взаимодействия материалов с внешней средой — физическим и химическим основам процессов, условиям их протекания и способам использования, мерам защиты материалов от отрицательного воздействия внешней среды.

Большое практическое значение имеют статьи о дефектах материалов и дефектоскопии — о причинах и условиях образования дефектов, методах их обнаружения, устранения или предотвращения, о чувствительности методов контроля.

В ЭНМ опубликованы также статьи о различных методах физических и химических анализов с характеристикой их основ, возможностей и особенностей, точности и эффективности каждого из них.

Всего в двух томах ЭНМ помещено около 1500 статей, почти все они — с библиографией. Статьи энциклопедии иллюстрированы внутритекстовыми графиками, схемами и фотографиями, а также цветными и черно-белыми вклейками.

ЭНМ рассчитана на научных и инженерно-технических работников, занятых синтезом, переработкой и применением неорганических материалов в различных отраслях народного хозяйства, на сотрудников научно-исследовательских и проектных институтов, заводских лабораторий. Она будет полезна также преподавателям вузов и техникумов, аспирантам, студентам и др.

В создании ЭНМ приняли участие (как авторы, спецредакторы, рецензенты, консультанты) более 700 ученых и других специалистов различных отраслей народного хозяйства

из 110 организаций, учреждений и предприятий Москвы, Ленинграда, Киева, Минска, Тбилиси, Новосибирска, Львова, Днепропетровска, Донецка, Волгограда, Свердловска, Челябинска, Тулы, Куйбышева и др. городов и научных центров страны. Особенно большой вклад внесли коллектив Ордена Трудового Красного Знамени Института проблем материаловедения АН УССР, а также коллективы других институтов АН УССР — Ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Института электросварки им. Е. О. Патона, Института металлофизики, Института проблем литья, Института геохимии и физики минералов, Института проблем прочности и Физико-механического института. Главная редакция Украинской Советской Энциклопедии и редакционная коллегия ЭНМ сердечно благодарят всех, кто участвовал в общественном обсуждении проекта тематического словника ЭНМ, содействовал приданию энциклопедии более четкого профиля, всех авторов, спецредакторов, рецензентов и консультантов.

Редакционная коллегия искренне признательна акад. АН СССР Н. В. Белову, С. В. Вонсовскому, Н. Н. Рыкалину, В. Д. Садовскому, В. И. Спицыну и Г. Н. Флерову, чл.-корр. АН СССР П. В. Гельду и А. Т. Туманову, акад. АН Груз. ССР Р. И. Агладзе и Ф. Н. Тавадзе, чл.-корр. АН Груз. ССР О. П. Мchedлову-Петросяну за участие и научно-методическую помощь в создании ЭНМ.

Замечания и предложения о содержании ЭНМ просим направлять по адресу: 252650, Киев-30, ГСП, ул. Ленина, 51, Главной редакции Украинской Советской Энциклопедии.

КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЕЙ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В Энциклопедии неорганических материалов статьи размещены в алфавитном порядке. Их названия даются, как правило, в единственном числе (напр., «Излом металла», а не «Изломы металла»). Множественное число принято в тех случаях, когда статья является обобщенным понятием (напр., «Ситалль», а не «Ситалл»). Названия статей набираются полужирным прописным шрифтом, их синонимы — обычным шрифтом вразрядку и отделены от основного названия запятой (например, **Геттеры, газопоглотители**). В названии статей, состоящем из двух и более слов, на первом месте (определяющем место статьи в алфавите энциклопедии) стоит то слово, которое несет смысловой акцент, выражая специфику содержания статьи (например, «Алюминия сплавы», а не «Сплавы алюминия», «Феррозондовый метод дефектоскопии», а не «Метод дефектоскопии феррозондовый»). Слово или слова, уточняющие и дополняющие название статьи, набраны вслед за ним вразрядку (например, **Внутреннее трение** в твердых телах). В энцикло-

педии принята система ссылок, дающая возможность легче и полнее ознакомиться с содержанием статей, избежать повторений. Название статьи, на которую дается ссылка, набрано курсивом (например, Структура кристалла в значительной мере зависит от термодинамических условий *кристаллизации*). Даются также статьи-ссылки обратные (например, **Неорганическое стекло** — см. *Стекло* неорганическое) и статьи-ссылки синонимические (например, **Каменного литья материалы** — то же, что и *петрургические материалы*). Слово или слова, составляющие название статьи, обозначены в тексте начальной буквой или буквами (например, в статье «Аустенит» одноименное слово обозначено буквой А., в статье «Фотометрические методы анализа» одноименные слова обозначены буквами Ф. м. а.).

Если иллюстративный материал по техническим причинам не помещен рядом со статьей, в ней указана страница, на которой этот материал можно найти (например, см. вклейку между сс. 48 и 49).

абс. — абсолютный
 атм. — атмосферный
 ат. м. — атомная масса
 ат. н. — атомный номер
 ат. % — атомный процент (с числом)
 б. ч. — большей частью
 в. — век
 в т. ч. — в том числе
 гл. обр. — главным образом
 ГОСТ — государственный общесоюз-
 ный стандарт
 др. — другие
 коэфф. — коэффициент
 кнд — коэффициент полезного дей-
 ствия
 к-рый — который
 к-та — кислота
 магн. — магнитный
 макс. — максимальный
 мех. — механический
 минер. — минеральный (с термином)
 миним. — минимальный
 мн. — многие
 мол. — молекулярный
 мол. м. — молекулярная масса
 мол. % — молекулярный процент
 (с числом)
 МРТУ — межреспубликанские тех-
 нические условия
 наз. — называемый, называется
 назв. — название
 напр. — например
 науч. — научный
 н.-и. — научно-исследовательский
 норм., н. — нормальный
 об. % — объемный процент (с чис-
 лом)

осн. — основной
 перем. — переменный
 пост. — постоянный
 пр. — прочий
 преим. — преимущественно
 произ-во — производство
 пром. — промышленный
 пром-сть — промышленность
 рис. — рисунок
 РТУ — республиканские техниче-
 ские условия
 св. — свыше
 св-во — свойство
 СВЧ — сверхвысокие частоты
 см. — смотри
 спец. — специальный
 ср. — сравни, средний
 ст. — статья
 табл. — таблица
 t — температура
 $t_{\text{кип}}$ — температура кипения
 $t_{\text{пл}}$ — температура плавления
 т. е. — то есть
 термоэдс — термоэлектродвижу-
 щая сила
 т. н. — так называемый
 т. о. — таким образом
 т-ра — температура
 ТУ — технические условия
 УВЧ — ультравысокие частоты
 УКВ — ультракороткие волны
 ур-ние — уравнение
 физ. — физический (с термином)
 ф-ла — формула
 хим. — химический (с термином)
 эдс — электродвижущая сила
 элект. — электрический

СОКРАЩЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЕДИНИЦ НЕКОТОРЫХ ВЕЛИЧИН

\AA — ангстрем			$л$ — литр
a — ампер			$лк$ — люкс
$ат$ — атмосфера			$лм$ — люмен
$a \cdot ч$ — ампер-час			$м$ — метр
$в$ — вольт			$мин$ — минута
$в \cdot a$ — вольт-ампер			$мкм$ — микрометр
$вб$ — вебер			$мкс$ — максвелл
$вт$ — ватт			$мм$ — миллиметр
$вт \cdot ч$ — ватт-час			$мм \text{ рт. ст.}$ — миллиметр ртутного столба
$г$ — грамм			$мг-экв$ — миллиграмм-эквивалент
$^{\circ}C$ — градус	стоградусной	шкалы	$об/мин$ — оборотов в минуту
Цельсия			$ом$ — ом
$ен$ — генри			$пз$ — пуаз
$град$ — градус			$сек$ — секунда
$гц$ — герц			$см$ — сантиметр
K — градус	абсолютной	шкалы	$ст$ — стокс
Кельвина			$т$ — тонна
$г-экв$ — грамм-эквивалент			$тс$ — тонна-сила
$дб$ — децибел			ϕ — фарада
$дж$ — джоуль			$ц$ — центнер
$к$ — кулон			$ч$ — час
$кал$ — калория			$э$ — эрстед
$квт$ — киловатт			$эв$ — электронвольт
$кгс$ — килограмм-сила			
$кмоль$ — киломо л			

Характеристика	Обозначение	Характеристика	Обозначение
Предел прочности на растяжение	σ_B	Коэффициент Пуассона	ν, μ
Предел прочности на сжатие	$\sigma_{сж}$	Коэффициент преломления света	n
Предел прочности на изгиб	$\sigma_{и}$	Коэффициент динамической вязкости	η
Предел длительной прочности (нижний индекс — продолжительность испытания в часах)	σ_{10}	Коэффициент кинематической вязкости	ν
Предел упругости	$\sigma_{уд}$	Пористость	θ
Предел текучести	σ_T	Коэффициент теплопроводности	λ
Предел пропорциональности при растяжении	$\sigma_{пп}$	Теплоемкость	C
Предел ползучести при высокой температуре (нижний индекс — допуск на деформацию в процентах и продолжительность испытания в часах)	$\sigma_{0,2/100}$	Удельная теплоемкость	c
Сопротивление разрушению при растяжении	S_R	Коэффициент температуропроводности	K
Условный предел текучести при растяжении (нижний индекс — остаточная деформация в процентах)	$\sigma_{0,2}$	Температурный коэффициент линейного расширения (коэффициент термического расширения)	α
Условный предел ползучести	$\sigma_{п}$		
Условный предел длительной прочности	$\sigma_{д.п}$	Температурный коэффициент модуля упругости	β
Ударная вязкость	α_H	Температурный коэффициент электросопротивления	α
Относительное удлинение (нижний индекс — после разрыва на длине $l = 5d$)	δ_s	Температура закалки	t_3
Относительное сужение	ψ	Температура отпуска	t_0
Модуль Юнга (модуль нормальной упругости)	E	Удельное электросопротивление	ρ
Модуль сдвига	G	Диэлектрическая проницаемость	ε
Микротвердость	H	Диэлектрическая восприимчивость	κ
Твердость по Бринеллю	H_B	Магнитная восприимчивость	χ_v
Твердость по Виккерсу	H_V	Удельная магнитная восприимчивость	χ_m
		Магнитострикция насыщения	λ_s
		Электродвижущая сила	E
Твердость по Роквеллу (шкала А)	HRA	Магнитная проницаемость	μ
Твердость по Роквеллу (шкала В)	HRB	Начальная магнитная проницаемость	μ_a
		Остаточная магнитная индукция	B_r
		Магнитная индукция насыщения	B_s
Твердость по Роквеллу (шкала С)	HRC	Козрдитивная сила	H_C
		Максимальная магнитная энергия	$(BH)_{\max}$
Плотность (объемная масса, насыпная масса)	ρ, D		

АБЛЯЦИЯ (лат. *ablatio* — отнимание, отнесение) — унос массы с поверхностей твердых тел высокотемпературным скоростным газовым потоком, обтекающим эти поверхности. Абляционное разрушение поверхностного слоя твердого тела, сопровождающееся уносом массы, происходит при значительных перепадах t -ры (до сотен градусов на миллиметр слоя по глубине), является результатом комбинированного воздействия тепла (при этом твердый материал переходит в неконденсированное состояние), мех. сил (см. *Эрозия металлов*) и агрессивных сред газового потока. Кроме того, под воздействием тепла газового потока поверхность твердого тела прогревается до t -ры, при которой начинается унос массы. Расход тепла на прогрев твердого тела определяется *теплоемкостью* и *теплопроводностью* материала, массой и теплофизическими свойствами газов, к-рые образуются в объеме материала и диффундируют (см. *Диффузия*) к поверхности, а также экзо- и эндотермическими хим. реакциями, протекающими в материале. Вдувание газовых компонентов в поверхностный слой и потери тепла (вследствие излучения, ионизации, возбуждения атомарных и мол. продуктов реакции в пограничном слое) снижают уровень теплового потока к поверхности твердого тела. Рекомбинация атомов, радикалов и ионов, образующихся в пограничном слое, окисление, происходящее при А., повышают уровень теплового потока, а следовательно, и скорость уноса массы. Пороговые значения теплового потока, при к-рых начинается А., определяются составом материала и, как правило, составляют от нескольких сот до нескольких тысяч $\text{ккал/м}^2\text{сек}$. Явление А. используют при создании т. н. жертвенных материалов для теплонапряженных узлов или агрегатов космической и ракетной тех-

ники, а также теплозащитных материалов, предохраняющих различные узлы и агрегаты от воздействия высоких t -р. К жертвенным относятся металлические и неметаллические (керамика, стекло) материалы, тугоплавкая составляющая к-рых образует пористый каркас, заполненный компонентом, способным поглощать тепло либо вследствие перехода твердого материала в неконденсированное состояние (см. *Плавление, Сублимация*), либо в результате эндотермического хим. превращения. Отбор тепла на плавление и сублимацию твердого материала способствует абляции и охлаждению изделия. Теплозащитными являются различные *армированные материалы*, для армирования к-рых используют *асбестовое волокно*, *стеклянное волокно*, спец. ткани, в качестве связующих веществ — *цементы*, неорганические полимеры и пр. Одна из важных характеристик материала — абляционная стойкость, определяемая количеством тепла, затрачиваемого на унос единицы массы с поверхности материала. Зависит от природы, структуры, теплофизических и прочностных св-в материала, каталитической способности поверхности и т. п. Для увеличения абляционной стойкости в состав материала вводят различные высокоэнтальпийные наполнители. Потери массы вследствие уноса уменьшают армированием материала, добавлением веществ, к-рые при повышении t -ры скрепляют материал (в результате образования вторичных фаз, уменьшающих его дефектность), упорядочиванием газового потока у поверхности твердых тел, что достигается оптимальным выбором состава материала, обеспечивающего в процессе абляции образование поверхности с минимальной шероховатостью, и подбором изделия оптимальной формы.

Лит.: Душин Ю. А. Работа теплозащитных материалов в горячих газовых потоках. М., 1968; Исследования при высоких температурах. Пер. с англ. М., 1967; Шмидт Д. Л. Абляционные материалы в космической технике. «Вопросы ракетной техники», 1970, № 6.

АБРАЗИВНОСТЬ (от лат. *abrasio* — соскабливание), абразивная способность — свойство твердых частиц (абразивных зерен) разрушать поверхность материала при механической обработке (шлифовании, хонинговании, суперфинишировании, доводке) или трении. А. зерен (ϵ_a), к-рая характеризуется интенсивностью (массой за единицу времени) разрушения поверхности, может быть количественно оценена

отношением $\epsilon_a = \frac{q_n}{q_0}$, где q_n —

интенсивность разрушения поверхности материала исследуемыми зернами; q_0 — интенсивность разрушения поверхности материала какими-либо эталонными зернами. Для характеристики А. прибегают также к определению количества (массы) разрушенного зернами материала до полной потери ими абразивных свойств. А. зависит от свойств разрушаемой поверхности, твердости (рис.) и др. характеристик абразивных зерен, их воздействия (условий и схемы нагружения) на поверхность. В общем случае А. повышается и дольше сохраняется с увеличением твердости и прочности зерен. Макс. значение А. ограничено допустимыми предельными напряжениями в зерне. Наиболее полно А. проявляется в условиях микрорезания, при к-ром твердость абразивных зерен должна быть выше твердости обрабатываемой поверхности в 1,6 раза и более. А. во многом обусловлена особенностями расположения и движения зерен. При разрушении хрупкой (напр., стеклянной) поверхности наибольшее воздействие оказывают зерна, к-рые свободно перекатываются по ней или ударяют под прямым углом. Если обрабатывается пластичная (напр., металлическая) поверхность, макс. воздействие отмечается при тангенциальном движении зерен к поверхности или

их ударе под острым углом. Поэтому, чтобы повысить А. и тем самым сократить время обработки поверхности, прибегают к оптимальному увеличению размеров и концентрации зерен, использованию зерен с более острыми гранями, к снижению адгезионного (см. *Адгезия*) взаимодействия между зернами и поверхностью, повышению инертности зерна к обрабатываемой поверхности (введением химически активных присадок в смазочно-охлаждающие жидкости, подбором зерен). Большой эффект дает также использование поверхностно-активных веществ, особенно при тонких доводочных операциях. Для снижения А. и, следовательно, уменьшения износа трущихся поверхностей применяют материалы и покрытия, твердость к-рых выше твердости абразивных зерен. См. также *Абразивные материалы*.

Лит.: Богомолов Н. И. О причинах снижения режущей способности абразива в процессе доводки. «Станки и инструменты», 1956, № 9; Ипполитов Г. М. Абразивные инструменты и их эксплуатация. М., 1959; Самсонов Г. В. Тугоплавкие соединения. М., 1963; Хрущов М. М., Бабищев М. А. Абразивное изнашивание. М., 1970. Н. И. Богомолов.

АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, абразивы — твердые порошкообразные материалы. Используются для мех. обработки поверхностей металлов, минералов, стекла и др., а также для бурения горных пород. Мех. обработка и бурение с помощью А. м. весьма производительны: из зоны обработки (или бу-

Зависимость абразивности зерен от их твердости. Эталон — монокорунд.



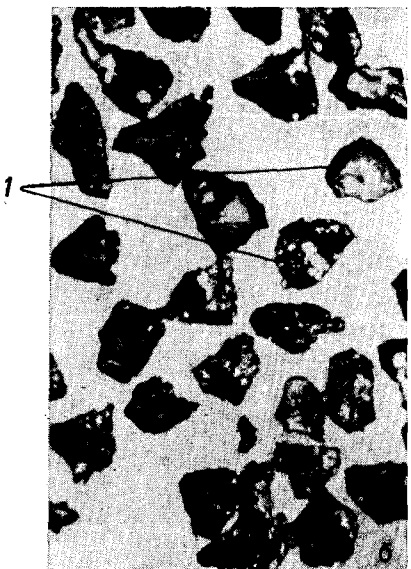
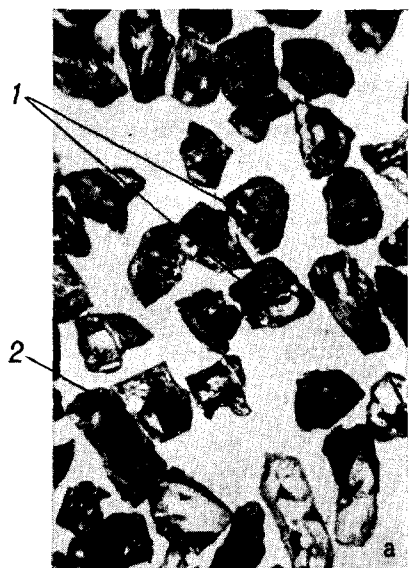
рения) удаляется за единицу времени значительная масса материала, что объясняется одновременным действием множества случайно ориентированных режущих кромок абразивных зерен; резание может вестись с большими скоростями, к-рые обеспечиваются высокой твердостью и прочностью абразивных зерен, их химической инертностью к обрабатываемому материалу при возникающих в зоне контакта повышенных т-рах. В процессе резания снимается очень тонкая стружка, чем достигается высокая степень чистоты обработанной поверхности, значительная точность обработки. Различают природные (естественные) и искусственные (синтетические) А. м.; искусственные отличаются лучшим комплексом свойств. Многие природные материалы использовали еще в глубокой древности. Некоторые из искусственных материалов впервые начали применять с конца 19 в. в связи с развитием машиностроения. К природным А. м. относятся: алмаз, гранаты, корунд, кремнь, мел, пемза, песок, трепел и др. Из искусственных А. м. наиболее распространенными являются электрокорунд, карборунд, материал на основе кубической модификации нитрида бора (в СССР торговые марки этого материала наз. эльбор, кубонит, в США — боразон), карбид бора (см. также Карбиды), синтетический алмаз. Осн. св-ва и характеристики А. м.: твердость, прочность, форма абразивного зерна, зернистость, абразивная способность. Твердость, в значительной мере обуславливающую возможность использования того или иного материала в качестве абразива, определяют, напр., вдавливанием в его поверхность индентора правильной геометрической формы (стального шарика, алмазной пирамиды). Различают А. м. сверхтвердые (микротвердостью более 5000 кгс/мм^2), обычной ($2000—5000 \text{ кгс/мм}^2$) и пониженной (менее 2000 кгс/мм^2) твердости. К сверхтвердым абразивам относятся природные и синтетические алмазы, сфалерито- и вюрцитоподобные модификации нитрида бора (напр., гексанит) и материалы на их основе (см. также Сверхтвердые материа-

лы). Материалы обычной твердости — карборунд, электрокорунд, карбид бора, пониженной твердости (полировальные) — крокус, окись хрома, пемза, трепел, мел и др. По десятибалльной шкале твердости Мооса, применяемой в минералогии, природные абразивы располагаются в таком порядке: алмаз — 10 (самый твердый), корунд — 9, гранат — 6,5—7,5, мел — менее 1. Прочность определяет сопротивляемость абразивного зерна усилиям разрушения. Чем выше прочность зерна, тем лучше его режущая способность (разрушение зерна наступает при больших глубинах резания). Прочность А. м. на сжатие в несколько раз больше, чем прочность на растяжение и изгиб. С повышением т-ры в зоне обработки прочность абразивов снижается. К наиболее прочным относятся сверхтвердые абразивы. Прочность зерен порошков синтетических алмазов регламентируется стандартом и оценивается ср. статистическим значением разрушающей нагрузки. Форма абразивного зерна (рис. с.14), к-рое представляет собой осколок монокристалла неправильной формы или поликристалл, во многом определяет режущую способность и износостойкость абразива. Наибольшей прочностью, режущей способностью и износостойкостью отличаются зерна изометрической или близкой к ней формы (с приблизительно равными размерами по высоте, ширине и толщине); менее прочны игловатые, пластинчатые и мечевидные зерна (их длина в два-три раза больше ширины). Форму зерен улучшают в спец. аппаратах, где менее прочные зерна разрушаются (напр., при ударе о преграду), а образовавшиеся осколки приобретают форму, более близкую к изометрической. Меньшими, чем у других А. м., углами и радиусами округления режущих кромок отличаются зерна синтетических алмазов, что позволяет снимать с их помощью стружку минимальной толщины. Зернистость, характеризующую размер и однородность зерен по размеру, определяют

классификацией А. м. по линейным размерам осн. фракции методами *ситового анализа*, осаждения в жидкости или газе с последующим измерением размера частиц с помощью микроскопа. Чем однороднее по форме и размеру зерен тот или иной материал, тем выше его эксплуатационные качества. Размер частиц осн. фракции абразивных материалов — от долей микрометра до нескольких миллиметров.

Синтетические алмазные А. м. марок АСО, АСР, АСВ, АСК и АСС выпускаются зернистостью от 50/40 до 630/500 $\mu\text{м}$, а микропорошки алмазов марок АСМ и АСН — от 1/0 до 63/50 $\mu\text{м}$ (первая цифра дроби — максимальный размер зерна, вторая цифра — минимальный). Наибольшей абразивной способностью, зависящей от всего комплекса св-в, но прежде всего от твердости и прочности зерен (см. также *Абразивность*), отличается, как правило, алмаз. При шлифовании стали эта способность выше у эльбора. К другим св-вам А. м. относятся модуль упругости, плотность, т-ра плавления, теплоемкость, теплопроводность (табл.) и др. А. м. производят: электрокорундовые — в электродуговых печах плавлением *окиси алюминия*; карбидные (карбид кремния, бора, титана) — восстановлением — карбидизацией соответствующих окислов углеродом в электродуговых печах или в электрических печах сопротивления. Сверхтвердые А. м. производят высокотемпературным синтезом в камерах высокого давления при наличии катализатора (см. *Высоким давлением обработка материалов*). Исходным сырьем для синтеза алмаза служит *графит*, для сфалерито- и вюрцитоподобных модификаций нитрида бора — гексагональный нитрид бора (белый графит). Из порошков А. м. изготавливают, скрепляя их связкой (напр., керамической) или нанося на гиб-

кую (тканевую, бумажную и др.) основу, абразивные инструменты: шлифовальные круги, головки, сегменты, бруски, шкурки и др. Кроме того, А. м. используют в несвязанном состоянии в виде порошков, паст (алмазных, эльборовых, из корундовых и *карборундовых материалов*,



Абразивные зерна: а — зерно зеленого карбида кремния; б — зерно карбида титана; 1 — зерно изометрической формы; 2 — зерно игольчатой формы.

также Доводочная паста, Полировальная паста) и суспензий, наносимых на притиры. Создан метод тонкой магнитно-абразивной обработки материалов абразивными зернами с ферромагнитными св-вами или смесями абразивных и ферромагнитных порошков, удерживаемыми на обрабатываемом материале магнитным полем, служащим «связкой». Для полирования тонких каналов и полостей сложной формы используют сильные струи жидкости или газа, несущие абразивные частицы. Синтетические алмазы используют при изготовлении доводочных и полировальных паст, а также шлифовальных кругов, брусков и др. алмазных инструментов, наиболее эффективных при обработке твердых и прочных материалов: стекла, горных пород, твердых сплавов, полупроводников, минералов, строительных материалов. Резание, напр., рубина алмазными кругами дает экономический эффект 3,7 руб. на 1 карат алмаза. Электрокорунд и материалы на основе сфалерита и вюрцитоподобных модификаций нитрида бора наиболее эффективны для обработки железа и его сплавов. Износостойкость фрез (сталь марки Р18), заточенных кругами из эльбора, в 1,5—2 раза выше их износостойкости при затачивании электрокорундовыми кругами. Инструментами из карбида кремния обрабатывают хрупкие и твердые материалы: чугун, камень, стекло, а также цветные сплавы на основе меди,

алюминия, титан и его сплавы. Карбид бора используется для обработки твердых сплавов, синтетического корунда, стекла, драгоценных камней при небольших скоростях резания, исключаящих повышение т-ры в зоне контакта с обрабатываемым материалом. Создаются новые А. м. на основе тугоплавких боридов и карбидов переходных металлов, зерна к-рых отличаются высокой твердостью, прочностью, теплопроводностью, теплоемкостью, некоторой пластичностью. Для тонких отделочных операций разрабатываются магнитно-абразивные материалы, содержащие карбиды переходных металлов и железо. На А. м. в зерне (за исключением алмаза и эльбора) распространяется действие ГОСТа 3647—71.

Лит.: Ваксер Д. Б. Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании. М.—Л., 1964; Полюбелова А. С. [и др.]. Производство абразивных материалов. Л., 1968; Ипполитов Г. М. Абразивно-алмазная обработка. М., 1969; Лурье Г. Б. Шлифование металлов. М., 1969; Самсонов Г. В. Новые абразивные материалы для шлифования и доводки. «Порошковая металлургия», 1973, № 7; Семко М. Ф. [и др.]. Эльборовое шлифование быстрорежущих сталей. Х., 1974; Маслоу Е. Н. Теория шлифования материалов. М., 1974.

А. А. Адамовский, Г. В. Самсонов.

АБСОРБЦИЯ (лат. absorptio — поглощение) — поглощение вещества (абсорбата, или абсорбируемого вещества) из газообразной среды всем

Свойства и характеристики абразивных материалов

Материал	Π , кгс/мм ²	E 10 ⁴ , кгс/см ²	ρ , г/см ³	$t_{пл}$, °С	λ , кал/см × сек × град	C , кал/г × град	Относительная абразивная способность
Алмаз природный	10 000	9,9—11,0	3,52	3000	1,303	0,12	1,00
Эльбор	8 000	8,50	3,50	3000	—	—	0,78
Карбид бора	4 500	2,93	2,52	2430	0,025	0,22	0,60
Карбид кремния	3 300	3,65	3,21	2700	0,019	0,15	0,50
Карбид титана	3 100	4,60	4,94	3150	0,069	0,14	0,42
Электрокорунд белый	2 200	3,88	3,95	2050	0,047	0,13	0,30

Примечания: 1. Для алмаза, эльбора, карбида бора и карбида кремния приведены т-ры диссоциации. 2. Абразивная способность указана для материалов зернистостью 160/125 мкм при шлифовании стекла марки К8. 3. Свойства и характеристики материалов приведены для т-ры 20° С.

объемом жидких или (реже) твердых тел (абсорбентов). Происходит в результате *диффузии* абсорбата в абсорбент через поверхность раздела. Для осуществления диффузии необходимо, чтобы концентрация абсорбата в газообразной среде превосходила его концентрацию над абсорбентом. Поглощение (точнее — извлечение) вещества из жидкой среды жидкостью наз. *экстракцией*. А. — частный случай *сорбции*, нередко сопровождается *адсорбцией* или хим. реакциями между абсорбатом и абсорбентом (см. *Хемосорбция*). А. зависит от природы абсорбата и абсорбента, увеличивается с повышением давления и понижением т-ры их. К важнейшим техническим абсорбентам относятся, напр., *геттеры*. У веществ, хорошо растворимых в абсорбенте, скорость А. определяется скоростью подвода газа к поверхности раздела; у слабо растворимых веществ — скоростью хим. взаимодействия между абсорбатом и абсорбентом или скоростью диффузии образовавшегося продукта в растворе. Если хим. взаимодействия между абсорбатом и абсорбентом нет (состояние абсорбата не изменяется), зависимость между равновесной концентрацией растворенного в абсорбенте (напр., жидкости) вещества $c_{ж}$ и парциальным давлением в газовой фазе p выражается законом Генри $p = k c_{ж}$, где k — коэффициент пропорциональности (коэффициент Генри). Поэтому А. в технике часто осуществляют при повышенном давлении. Для интенсификации абсорбционных процессов прибегают также к энергичному перемешиванию газа и жидкости и, особенно, к возможно большему развитию поверхности их

соприкосновения. В некоторых пром. абсорберах поверхность соприкосновения увеличивают заполнением абсорбционной колонны насадкой из керамических или стальных колец, по к-рой жидкость в виде тонкой пленки стекает навстречу поднимающемуся абсорбируемому газу. В абсорберах барботажного типа мельчайшие пузырьки газа проходят через слой жидкости, в пенных абсорберах — через слой подвижной пены. Процесс А. используется в произ-ве важнейших неорганических к-т (соляной, серной, азотной), аммиака, кальцинированной соды, для улавливания ценных газов и паров, разделения газовых смесей, очистки воздуха и отходящих пром. газов от вредных примесей и т. п. Термин «абсорбция» употребляется, кроме того, для характеристики поглощения веществами электромагнитных волн, звука, радиоактивного излучения, рентгеновских лучей и др. Процесс, обратный А., наз. *десорбцией*. См. также *Окклюзия*.

Лит.: Рамм В. М. Абсорбционные процессы в химической промышленности. М. — Л., 1951; Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., 1971; Циборова С. И. Я. Основы процессов химической технологии. Пер. с польск. Л., 1967.

АВИАЛЬ [ави(ационный) *ал*(юминий)] — деформируемый алюминий *сплав*, содержащий в качестве осн. легирующих элементов магний (до 1,2%) и кремний (до 1,2%). Первые термически упрочняемые сплавы системы алюминий — магний — кремний создали в начале 20-х гг. 20 в. амер. металловеды В. Джеффрис и Р. Арчер. В СССР изучение этих сплавов, разработка новых композиций и внедрение их в произ-во связаны с именем металловеда С. М. Воронова. Кроме магния и кремния, к-рые образуют упрочняющую фазу (Mg_2Si) и определяют воз-

Таблица 1. Химический состав авиалей

Марка сплава	Содержание элементов, %					
	Al	Mg	Si	Mn	Cr	Cu
АВ	Основа	0,45—0,90	0,50—1,20	0,15—0,35	—	0,1—0,5
АД31	»	0,40—0,90	0,30—0,70	—	—	—
АД33	»	0,80—1,20	0,40—0,80	—	0,15—0,35	0,15—0,40

возможность повышения прочности сплава термообработкой (*закалкой* и последующим старением, см. *Старение металлов*), в составе А. могут быть марганец, хром и медь (табл. 1). Сплав отличается высокой *пластичностью* (что дает возможность ковать и штамповать детали сложной формы), значительной *коррозионной стойкостью*, удовлетворительной мех. прочностью и свариваемостью, хорошей технологич-

Таблица 2. Свойства авиалей

Марка сплава	Старение	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ , %
		кгс/мм ²		
АВ	Естественное	26	20	15
	Искусственное	36	30	12
АД31	Естественное	18	10	22
	Искусственное	25	20	12
АД33	Естественное	25	18	14
	Искусственное	34	28	11

ностью в металлургическом производстве, хорошо поддается полированию и анодированию. Получают А. сплавлением первичного алюминия с легирующими элементами — в чистом виде (медью, магнием) или в виде *лигатур* (кремнием, марганцем, хромом).

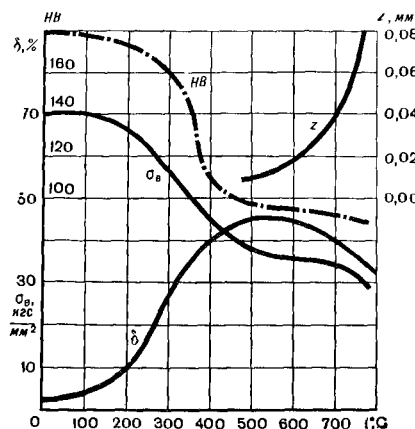
Сплавы марок АВ, АД31 и АД33 применяют в основном в виде прессованных прутков и профилей, к-рые обычно подвергаются закалке (с т-ры 515—530° С) и последующему естественному (более 10 суток) или искусственному (т-ра 160—170° С, выдержка 10—12 ч) старению (табл. 2). Кроме того, из сплавов марок АВ и АД33 изготавливают поковки, штамповки, трубы. Наиболее широкое применение в транспортном машиностроении, строительстве и др. отраслях народного хозяйства находят профили из сплава марки АД31. Качество поверхности изделия из сплава А. (напр., корпуса часов), подвергнутой в декоративных целях спец. обработке (полированию, анодированию с последующим напылением окисной пленки красителями), зависит от чистоты сплава, гл. обр. от содержания примесей железа. Для таких изделий используют сплавы типа АД31 с пониженным содержанием железа (менее 0,1%).

Марки сплава А., технические требования к нему включены в ГОСТ 4784—74.

Лит.: Воронов С. М. Избранные труды по легким сплавам. М., 1947; Колачев Б. А., Ливанов В. А., Елагин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М., 1972; Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочное руководство. М., 1972. В. И. Елагин.

АВТОМАТНАЯ ЛАТУНЬ, свинцовистая латунь — легированная свинцом *латунь*, легко поддающаяся скоростной обработке на металлорежущих станках-автоматах. Впервые предложена (как свинцовистая латунь) в 1832 англ. инженером Г. Мунцем, в связи с чем ее наз. так же *мунц-металлом*. В СССР выпускают А. л. семи марок (табл. 1, 2). С повышением содержания свинца *пластичность* латуни несколько снижается, но улучшаются антифрикционные св-ва (частицы мягкого свинца служат при обработке своеобразной смазкой) и обрабатываемость резанием, к-рую у латуни марки ЛС63-3 принимают за 100% (по ней оценивают обрабатываемость *меди сплавов*). К тому же обработка полуфабрикатов из А. л. сопровождается образованием мелкой и легко

Зависимость механических свойств и величины зерна (z) нагартанной (на 60%) автоматной латуни марки ЛС59-1 от температуры отжига



отделяющейся стружки, что дает возможность получать поверхность высокой чистоты. Дополнительное легирование железом повышает т-ру рекристаллизации А. л., ее прочность. Как и обычная латунь, А. л. отличается хорошей коррозионной стойкостью на воздухе, в пресной и соленой воде. Легко поддается рифлению, накатке, гибке и штампованию. Латунь марок ЛЖС58-1-1, ЛС59-1, ЛС59-1В и ЛС60-1 обрабатывают давлением (прессованием, ковкой, прокаткой, волочением) в холодном и горячем состоянии, А. л. марок ЛС63-3, ЛС64-2 и ЛС74-3 прокатывают только в холодном состоянии. Смягчающий отжиг ведут при т-ре 600—650° С, горячую деформацию — при т-ре 640—780° С. Допустимые суммарные обжатия между отжигами — не более 70%. В технике наиболее широко используют латунь марки ЛС59-1 (рис.), выпускаемую в виде полуфабрикатов: лент, полос, листов, прутков, проволоки, труб. Латунь марок ЛЖС58-1-1, ЛС59-1В и ЛС60-1 идет на изготовление прутков, марки ЛС63-3 — лент, полос и прутков, марки ЛС64-2 — полос, марки ЛС74-3 — лент и полос. Полуфабрикаты получают из круглых или плоских слитков и поставляют в мягком (отожженном)

или загартованном — полутвердом (обжатие 10—30%), твердом (30—50%) и особо твердом (обжатие более 50%) состоянии. Из латунных калиброванных прутков изготавливают болты, гайки, винты и др. изделия массового произ-ва, из латуни марок ЛС63-3 и ЛС74-3 — детали часов и втулок. Латунь марки ЛС64-2 используют для изготовления типографских матриц, латуни остальных марок — в произ-ве шестеренок, зубчатых колес, подшипников и др. деталей, получаемых обработкой резанием. Марки А. л., технические требования к этим латуням включены в ГОСТ 15527—70.

Таблица 1. Химический состав автоматных латуней

Марка латуни	Содержание элементов, %			
	Cu	Pb	Fe	Zn
ЛЖС58-1-1	56,0—58,0	0,7—1,3	0,7—1,3	Остальное
ЛС59-1	57,0—60,0	0,8—1,9	—	»
ЛС59-1В	57,0—61,0	0,8—1,9	—	»
ЛС60-1	59,0—61,0	0,6—1,0	—	»
ЛС63-3	62,0—64,0	2,4—3,0	—	»
ЛС64-2	63,0—66,0	1,5—2,0	—	»
ЛС74-3	72,0—75,0	2,4—3,0	—	»

Примечание: В латуни марки ЛС59-1В, изготавливаемой из вторичных металлов, содержится больше примесей, чем в латуни марки ЛС59-1

Таблица 2. Свойства автоматных латуней

Марка лату- ни	D, г/см³	t пл., °C	λ, кал/см·сек·град	ρ, ом·мм²/м	σ _B		σ _{0,2}		δ, %		α·10⁴, град⁻¹	E, кгс/мм²	Обрабатываемость резанием по отношению к обрабаты- ваемости латуни марки ЛС63-3 (принятая за 100%), %
					кгс/мм²				Отожженная Нагартованная на 30—50%				
ЛЖС58-1-1	8,5	895	0,29	0,090	42	75	—	—	40	—	21,0	10 800	—
ЛС59-1	8,5	900	0,26	0,068	40	65	14,0	45	45	16	20,6	10 500	80
ЛС59-1В	8,5	900	0,26	0,068	40	65	14,0	45	45	16	20,6	10 500	80
ЛС60-1	8,5	900	0,25	0,064	37	67	13,0	56	45	4	21,4	10 500	80
ЛС63-3	8,5	905	0,28	0,066	35	60	12,0	50	55	5	20,5	10 500	100
ЛС64-2	8,5	910	0,28	0,066	35	60	10,0	50	55	5	20,3	10 500	80
ЛС74-3	9,7	965	0,29	0,078	35	65	10,4	52	50	4	19,8	10 500	80

Лит.: Шпичинецкий Е. С. Латуны. В кн.: Справочник машиностроителя, т. 6. М., 1964; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

Г. Е. Шпичинецкий, Е. С. Шпичинецкий.
АВТОМАТНАЯ СТАЛЬ — сталь, легко поддающаяся скоростной обработке на металлорежущих станках-автоматах. Выделена в самостоятельный класс сталей в конце 20-х гг. 20 в. в США. Относится к углеродистым, низколегированным и нержавеющей сталям (см. *Углеродистая сталь*, *Легированная сталь*, *Не-*

ствую образованию при резании легко отламывающейся и отделяющейся стружки, меньшему износу инструмента. У фосфорсодержащей А. с. после мех. обработки блестящая поверхность. В то же время серо- и фосфорсодержащие стали отличаются повышенной *хрупкостью* (поэтому из них изготовляют преим. метизы или др. малонагруженные детали), низкой технологической *пласт-*

Таблица 1. Химический состав автоматных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %				
	C	Si	Mn	S	P
A12	0,08—0,16	0,15—0,35	0,60—0,90	0,03—0,20	0,08—0,15
A20	0,15—0,25	0,15—0,35	0,60—0,90	0,08—0,15	Не более 0,06
A30	0,25—0,35	0,15—0,35	0,70—1,00	0,08—0,15	» 0,06
A40Г	0,35—0,45	0,15—0,35	1,20—1,55	0,13—0,30	» 0,06

ржавеющая сталь). Отличается искусственно повышенным содержанием серы или фосфора (табл. 1,2) либо специально введенными добавками свинца (0,15—0,30% Pb, иногда вместе с серой), селена (0,03—0,3% Se) или теллура (0,03—0,3% Te). А. с. легируют селеном и теллуrom совместно или (реже) раздельно, иногда в сочетании со свинцом и серой.

В структуре серосодержащей А. с. нематаллические включения (гл. обр. *сульфиды* марганца) расположены в продольном направлении, что снижает ее *прочность*, способ-

тичностью, связанной с проявлением *красноломкости* (что осложняет прокатку и ковку), плохой *свариваемостью*. Лучшие физико-мех. св-ва (вследствие иной природы, морфологии, иного распределения в структуре нематаллических включений) у А. с., легированных свинцом, селеном или теллуrom. К свинецсодержащим А. с. относятся легированные конструкционные и даже аустенитные стали марок АС14, АС35Г2, АС12ХН, АС14ХГН, АС20ХГНМ, АС30ХМ, АС40ХГНМ, АСХ18НП и др. В эти стали свинец вводят в виде дроби в струю разливаемого металла. Созданы также спец. *лигатуры*, с помощью к-рых сталь легируют свинцом в слитках и отливках. Применение лигатур дает возможность уменьшить угар летучих компонентов, сократить количество испаряющегося свинца, способствует лучшему растворению свинца в стали. Селен и теллур вводят в чистом виде при разливке стали. Прокатка и ковка свинец-, селен- и теллуросодержащих А. с. не вызывает затруднений. К тому же легирование стали свинцом, селеном и теллуrom мало сказывается на *анизотропии* ее св-в, *прокаливаемости*, *закаливаемости*, зерновых

Таблица 2. Свойства автоматных сталей

Марка стали	σ_B , кгс/мм ²	δ_s , %	ψ , %	НВ, не бо- лее
		не менее		
A12	42—57	22	36	160
A20	41—61	20	30	168
A30	52—67	15	25	185
A40Г	60—75	14	20	207

Примечания: 1. Приведены свойства горячекатаной стали в продольном направлении. 2. У холоднотянутой стали предел прочности на 25—35% больше, а относительное удлинение — почти в три раза меньше, чем у горячекатаной.

характеристиках, склонности к разрушению без заметной пластической деформации. Поэтому из А. с., легированных свинцом, селеном или теллуром, изготавливают тяжелонагруженные детали, подвергаемые сложной термической и *химико-термической обработке*. Введение в А. с. свинца, селена или теллура позволяет увеличить скорость резания твердосплавным инструментом в 3,5 раза, инструментом из *быстро-режущей стали* — в 2,5 раза. При одинаковой скорости резания стойкость инструмента при обработке автоматных конструктивных сталей возрастает в три — шесть раз, автоматных мартенситных — в два-три раза, автоматных аустенитных сталей — в 8—10 раз. Произ-во свинец-, селен- и теллурсодержащих А. с. связано с необходимостью строгого соблюдения правил техники безопасности из-за высокой *летучести* токсичных паров этих элементов и их соединений. А. с. всех марок выпускают в виде прутков и проката несложного профиля. Марки серо- и фосфорсодержащих А. с., технические требования к этим сталям включены в ГОСТ 1414—75. Марки свинец-, селен- и теллурсодержащих А. с., технические требования к этим сталям также приведены в этом ГОСТе.

Лит.: Боголюбов В. А. (и др.). *Нержавеющая автоматная сталь*. «Металловедение и термическая обработка металлов», 1961, № 11; Гольдштейн Я. Е. (и др.). *Обработка свинец-, микролегированной селеном и свинцом*. «Станки и инструмент», 1966, № 9; Браун М. П., Винокур Б. В., Матюшенко Н. И. *Легирование стали свинцом с целью улучшения обрабатываемости*. «Технология и организация производства», 1972, № 3; Гольдштейн Я. Е., Заславский А. Я., Гусева З. Ф. *Влияние селена на структуру и свойства сернистых сталей повышенной обрабатываемости*. «Металловедение и термическая обработка металлов», 1973, № 4; Гудремон Э. *Специальные стали*. Пер. с нем. М., 1966; Радтке Д., Шрайбер Д. *Влияние сульфидов на обрабатываемость автоматных сталей*. «Черные металлы», 1966, № 2. Б. В. Винокур

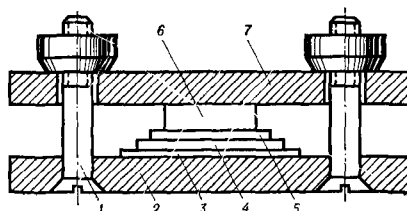
АВТОРАДИОГРАФИЧЕСКИЙ

АНАЛИЗ, радиографический анализ — анализ распределения веществ в материале с помощью автордиограмм, или радиоавтографов — фотоаграф-

ческих изображений, полученных под воздействием радиоактивного излучения этих веществ. Широко используется в металловедении с начала 50-х гг. 20 в. А. а. основан на способности некоторых веществ (обычно бромистого серебра, часто с добавлением небольшого количества йодистого серебра) претерпевать хим. превращения под воздействием света, рентгеновских и гамма-лучей, а также заряженных частиц. Различают А. а. следовый и контрастный. При следовом анализе о природе и интенсивности излучения судят по виду, расположению и количеству следов (треков), образуемых заряженными частицами в фотоэмульсии. При контрастном анализе интенсивность излучения и характер распределения радиоактивного изотопа в материале определяют по результатам суммарного действия заряженных частиц, вызывающего на определенных участках автордиограмм почернение различной плотности. А. а. подразделяют также на контактный и дистанционный, что обусловлено возможностью получать автордиограммы от источников излучения, находящихся либо в непосредственном контакте с фотоэмульсией, либо на некотором расстоянии от нее.

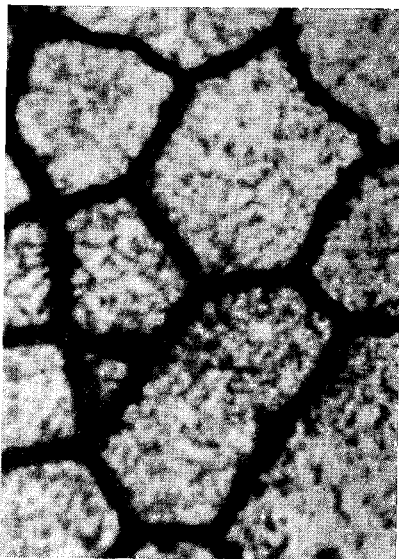
В подавляющем большинстве исследований применяют только контрастный контактный анализ. Важнейшей операцией, предшествующей анализу, является активирование материала (напр., сплава), осуществляемое введением радиоактивного изотопа в плавку или облучением образцов материала потоком ядерных частиц. Иногда сплав активи-

Рис. 1. Кассета для автордиографического анализа: 1 — зажимный винт; 2 — основание; 3 — резина; 4 — прокладочная; 5 — фотоэмульсия; 6 — активированный образец; 7 — крышка.



руют электроосаждением радиоактивного изотопа на исследуемом образце, насыщением образца радиоактивным изотопом из газообразной фазы или испарением радиоактивного изотопа в вакууме с последующим его осаждением на образце. Если радиоактивный изотоп вводят в плавку, то полученный сплав подвергают обработке, необходимой по условиям исследования: ковке или прокатке, термообработке, резанию, шлифованию, полированию. Если активирование осуществляют в ядерном реакторе, то к перечисленным операциям прибегают, по возможности, до облучения. Методика А. а. сводится к следующему. Активированный образец приводят в контакт с фотоэмульсией и выдерживают в кассетах (рис. 1) в течение времени, достаточного для создания в зернах бромистого серебра скрытого изображения. Время экспозиции (1—30 суток) зависит от типа излучения и интенсивности энергии. После проявления участки фотоэмульсии, расположенные напротив мест локализации радиоактивного изотопа, темнеют, вследствие чего получается изображение его распределения

Рис. 2. Авторадиограмма распределения углерода в сплаве железа с 15% Мо. Изотоп ^{14}C , $\times 50$.



в материале — авторадиограмма (рис. 2). Изучают авторадиограммы, как правило, под микроскопом, причем степень увеличения определяется задачами исследования, типом излучателя и св-вами фотоэмульсии. Для А. а. целесообразно применять радиоактивные изотопы с бета- или бета + гамма-излучением, к-рыми характеризуется значительное количество промышленно ценных элементов. Наиболее пригодны радиоактивные изотопы, период полураспада к-рых составляет не менее трех—пяти суток, напр. ^3H , ^{14}C , ^{35}S , ^{93}Zr , ^{63}Ni . Разрешающая способность авторадиограмм (т. е. способность эмульсионного слоя воспроизводить раздельно изображения от источников излучения) зависит от дисперсности кристаллов бромистого серебра, толщины эмульсионного слоя, типа и энергии излучения, толщины образца и плотности контакта между ним и фотоэмульсией. Если используются образцы произвольной толщины, удовлетворительная четкость авторадиограмм достигается лишь с радиоактивными изотопами, максимальная энергия спектра к-рых не превышает 0,3—0,4 Мэв. А. а. дает количественную оценку структурной неоднородности материала в тех случаях, когда др. общепринятые методы анализа не могут быть использованы. По характеру получаемой информации А. а. близок к рентгеновскому микроанализу, превосходя его по чувствительности и уступая в разрешающей способности. А. а. несложен, результаты его, как правило, наглядны и однозначны. Строгое соблюдение постоянства всех условий исследования обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов, ошибка при этом не превышает 10%. С помощью А. а. исследуют распределение легирующих элементов и примесей в литых материалах, изучают перераспределение легирующих элементов в сплавах под влиянием деформации и термической обработки, определяют диффузионную подвижность по границам зерен и в объеме металлов и сплавов. Электронномикроскопический А. а. дает возможность определить локализа-

цию радиоактивного элемента в тонкой структуре исследуемого материала, количественно оценить распределение меченых атомов в структуре.

Лит.: Бокштейн С. З., Кишин С. Т., Мороз Л. М. Исследование строения металлов методом радиоактивных изотопов. М., 1959; Дриц М. Е., Свидерская З. А., Каданер Э. С. Авторадиография в металловедении. М., 1961; Брук Б. И. Авторадиографическое исследование металлов, применяемых в судостроении. Л., 1966.

В. М. Фальченко.

АВТОЭМИССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, автоэлектронные материалы — материалы (металлы и полупроводники), применение к-рых основано на явлении автоэлектронной эмиссии — испускании (выходе) электронов с их поверхности под действием сильного электрического поля. Впервые А. м. гл. обр. вольфрам, начали использовать в конце 30-х гг. 20 в. в Германии для изготовления игольчатых автоэмиссионных катодов. С этой целью концы предварительно отожженной вольфрамовой проволоки электрохимически стравливали на острия с радиусами закругления порядка одного микрометра. В последующие годы А. м. (в виде монокристаллических игольчатых катодов) служат объектом исследования таких характеристик чистых материалов или пленочных (моноатомных, мономолекулярных) покрытий, как работа выхода электронов и теплота *адсорбции* хим. элементов и их соединений для граней монокристалла. Эти исследования проводят с использованием автоэлектронных и автоионных микропроекторов, дающих возможность получать увеличенное в сотни тысяч раз изображение исследуемого объекта при разрешающей способности до нескольких ангстрем. Кроме того, из А. м. изготовляют автоэмиссионные катоды, или автокатоды, различных типов (табл.): игольчатые, лезвийные, пленочные и висеры (монокристаллические усы), служащие источниками тока в различных электронных приборах. Использование игольчатых автокатодов ограничивается их низкой стабильностью в техниче-

ском вакууме и малой плотностью тока. Перспективны лезвийные и особенно пленочные автокатоды, к-рые не нуждаются в тепловом или каком-либо ином возбуждении электронного газа, отличаются высокой плотностью тока (до 10^6 — 10^8 а/см²), значительной стойкостью к влиянию т-ры и внешней радиации. Основ. требования к материалам для автокатодов: небольшая работа выхода электронов, малый коэффициент катодного распыления, высокие значения мех. прочности, электропроводности и теплопроводности. Они должны также отличаться высокой коррозионной стойкостью, быть безопасными в обращении. Этим требованиям в значительной мере

Автоэмиссионные материалы для автокатодов

Материал	Тип автоката- тода
Алюминий	вс
Кремний	игл, вс
Титан	игл, пл
Хром	игл, вс, пл
Железо	игл
Кобальт	игл
Никель	игл, вс
Медь	вс, лз
Германий	игл, вс
Цирконий	вс
Золото	вс
Ниобий	игл, лз
Молибден	игл, пл, вс
Родий	игл
Палладий	игл
Гафний	игл
Тантал	игл, лз, вс
Вольфрам	игл, лз
Рений	игл
Иридий	игл
Платина	вс
Ртуть	вс
Гексаборид лантана	игл
Карбид вольфрама	игл
Карбид молибдена	игл
Карбид циркония	игл
Окись вольфрама	вс
Окись олова	пл
Сталь	лз
Сурьмянистый цезий	вс

Примечание: Обозначения автокатодов: вс — висеры, игл — игольчатые, лз — лезвийные, пл — пленочные.

удовлетворяют переходные металлы, в частности хром, титан, ниобий, тантал и молибден. Многие металлы (медь, золото и др.) нельзя использовать в обычном виде (из-за низкой мех. прочности) в качестве автокатодов. Однако монокристаллические усы из этих металлов могут служить источниками тока. А. м. относятся к одним из наиболее перспективных материалов электронной техники.

Лит.: Елинсон М. И., Васильев Г. Ф. Автоэлектронная эмиссия. М., 1958; Непакаливаемые катоды. М., 1974; Мюллер Э., Цонь Т. Автоэлектронная микроскопия. Пер. с англ. М., 1972.

В. В. Бондаренко.

АГАТ [от греч. Ἀχάτης — Ахатес (назв. р. Дирилло в Сицилии)] — минерал класса *силикатов*, полосчатый *халцедон*. Для А. характерно чередование слоев различной толщины (от нескольких микрометров до 1 см), которые отличаются цветом, пористостью и прозрачностью. Минерал именуют А., если слои на изломе волнистые, зигзагообразные, расходятся концентрическими кругами причудливых очертаний. Халцедоны с прямыми слоями наз. ленточными А. В зависимости от окраски и характера слоев различают: *оникс* (грубополосчатый халцедон), *сердоликс* (ленточный А., представленный слоями бурого и черного цвета), *сердолик* (сердолик с красными и белыми слоями). Под микроскопом у А. проявляется кристаллическая, сферолитовая, мозаичная, радиально-лучистая или тонковолокнистая структура. По морфологическим особенностям выделяют миндальный, жильный и вкрапленный типы агатовой минерализации. Встречается в миндалеях, жеодах, в маломощных жилах и прожилках в ассоциации с *кальцитом*, горным хрусталем, *аметистом*, *цеолитами* (чаще с *гейландитом*, *стильбитом*, *морденитом*, *глюритом* и др. низко- и среднетемпературными гидротермальными минералами). Постмагматические приповерхностные месторождения приурочены к покровам *базальтов*, *андезитов*, *порфириров* и *туфам* основного состава. А. легко поддается искусственному окрашиванию. Черный цвет получают пропитыванием минерала раствором сахара или меда с последующим

прокаливанием или обработкой серной к-той. Для получения коричнево-красной, красной или зеленой окраски минерал пропитывают раствором азотнокислого железа или хромовых квасцов, а затем обжигают. Если минерал пропитать раствором красной кровяной соли, а затем раствором азотно- или сернокислого железа, получится индигово-синяя окраска. А. используют в производстве паф для теодолитов и нивелиров, призм для точных весов, подпятников для электрических и водомерных счетчиков и т. д., а также как поделочный и полудрагоценный камень.

Лит.: Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. М., 1955; Финько В. И. Вторичная окраска агата. «Природа», 1958, № 5; Ферсман А. Е. Избранные труды, т. 7. М., 1962; Супрычев В. А. Крымские самоцветы. Симферополь, 1973.

В. А. Супрычев.

АГЛОПОРИТ [от лат. aggl(omatus) — нагроможденный и греч. πόρος — выход, пор] — пористый материал, получаемый агломерацией (спеканием) топливных *шлаков* и *золы*, шахтных и др. глинистых пород. В качестве добавок применяют антрацит, каменный или бурый уголь, древесные опилки, лигнин, известь и пр. После агломерации глыбы материала дробят и рассеивают на фракции. В СССР произ-во этого материала начато в 1955 (Караганда). А. состоит в основном из пористой стекловидной массы, произнанной кристаллическими новообразованиями *кварца*, *полевого шпата*, *фаялита*, *муллита*, магнетита, иногда *анортита*. Производят А. в виде щебня и песка. Щебень разделяют на фракции 5—10; 10—20 и 20—40 мм, а песок — на мелкий (до 1,25 мм) и крупный (1,25—5,00 мм). По насыпной объемной массе (кг/м^3) в сухом состоянии различают щебень марок 400, 500, 600, 700 и 800, песок — марок 600, 700, 900 и 1100. Плотность А. — 2,45—2,78 г/см^3 . Размер пор от нескольких микрометров до 0,5 мм для закрытых и от 0,5 до 2,0 мм для открытых. Миним. прочность щебня на сжатие (в зависимости от марки) 4—12 кгс/см^2 , *водопоглощение* 18—35%, *пористость* 40—70%, межзеренная

пустотность 52—64%, коэфф. теплопроводности $0,10—0,22 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \times \text{град}$. Потери по массе не должны превышать 10% при испытании на морозостойкость после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Произ-во А. состоит из добычи, сортировки и дробления сырья, увлажнения, смешения и гранулирования шихты, спекания ее на решетке агломерационной машины (непрерывного или периодического действия), охлаждения и дробления материала. А. применяют в основном как *заполнитель* для легких бетонов, в качестве теплоизоляционной засыпки. Используют также вместо природных плотных заполнителей в сборном железобетоне на бетоне марок 200—400. На А., как заполнитель, разработан ГОСТ 11991—66.

Лит.: Бурлаков Г. С. Основы технологии керамики и искусственных пористых заполнителей. М., 1972; Роговой М. И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. М., 1974. Г. Д. Дибров.

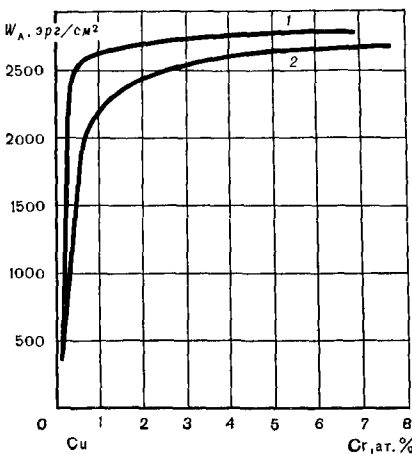
АГЛОПОРИТОБЕТОН — легкий бетон с заполнителем—*аглопоритом*. В СССР впервые применен в 1955—56 (Москва, Ростов-на-Дону). А. подразделяют на конструктивно-теплоизоляционный (прочностью на сжатие до 100 кгс/см^2) и конструктивный (прочностью $150—400 \text{ кгс/см}^2$). Объемная масса А. слитной структуры в сухом состоянии (в зависимости от марок заполнителей по объемной насыпной массе и расхода цемента) составляет: $1100—1500 \text{ кг/м}^3$ (марка бетона по прочности на сжатие 35—40); $1200—1600$ (марка 75—100); $1300—1800$ (марка 150—200) и $1600—1800 \text{ кг/м}^3$ (марка бетона 250—400). Водопоглощение А. слитной структуры 17—21%, коэфф. размягчения 0,70—0,95, прочность на изгиб $19—31 \text{ кгс/см}^2$, коэфф. теплопроводности конструктивно-теплоизоляционного А. до $0,55 \text{ ккал/м} \times \text{ч} \cdot \text{град}$, морозостойкость его в зависимости от условий эксплуатации — 15—35 циклов, конструктивного А. — не менее 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Изделия из А.: однослойные стеновые панели, крупные и мелкие

стеновые блоки, панели перекрытий и др. Осн. технические требования к А. регламентированы ГОСТами 11024—72, 11050—64 и СНиП 1-В. 3—62. См. также *Легкий бетон*. Лит.: Симонов М. З. Основы технологии легких бетонов. М., 1973; Иванов И. А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. М., 1974. Г. Д. Дибров.

АДГЕЗИЯ (лат. *adhaesio* — прилипание) — сцепление и связь между находящимися в контакте поверхностями двух разнородных по составу (твердых или жидких) тел (фаз). А. обусловливается межмолекулярными силами притяжения и проявляется в сопротивлении разделению или отрыву контактирующих тел. Если тела по хим. составу однородны, это явление наз. *когезией*. Количественной мерой А. служит удельная работа W_A (энергия, затраченная на разделение тел и отнесенная к единице площади контакта) или усилие отрыва f_A при данной схеме нагружения (напр., при сдвиге), также отнесенное к единице площади контакта. Удельная работа А. может быть выражена через поверхностные свойства контактирующих тел (фаз).

Для термодинамически обратимого процесса разделения фаз 1 и 2 в среде 3 удельная работа А. определя-

Зависимость удельной работы адгезии меднохромового расплава от его концентрации: 1 — адгезия к алмазу (t-ра 1150°C); 2 — адгезия к графиту (t-ра 1250°C).



$$W_{A_{12}} = \sigma_{13} + \sigma_{23} - \sigma_{12}, \quad (1)$$

где σ_{13} , σ_{23} , σ_{12} — удельная межфазная энергия на границе раздела соответственно фаза 1 — среда 3, фаза 2 — среда 3, фаза 1 — фаза 2. Энергетическая характеристика А. — термодинамически равновесная величина удельной работы А. — экспериментально может быть определена для контакта двух жидких или жидкой и твердой фаз. В первом случае измеряют значения удельных межфазных энергий на границах фаз и используют ур-ние (1). Во втором случае определяют краевой угол смачивания Θ твердой фазы жидкой, удельную межфазную энергию на границе жидкой фазы с третьей (газовой) фазой $\sigma_{жг}$, а удельную работу А. рассчитывают с помощью ур-ния Юнга $W_A = \sigma_{жг} (1 + \cos \Theta)$. Ур-ние действительно, если $\Theta > 0$ (табл.). Величину W_A можно также определить, измерив угол наклона плоской поверхности твердого тела α , при к-ром капля жидкости массы m начинает скатываться с нее: $W_A = mg \sin \alpha$, где g — ускорение свободного падения. Ур-ние действительно, если $\Theta \geq 50^\circ$. При контакте твердых тел (напр., затвердевшего припоя и твердой поверхности) можно определить лишь силовую характеристику А. — усилие, при к-ром происходит отрыв. Принципиальная связь между удельной работой и усилием отрыва выражается

ур-нием

$$W_A = \int_a^\infty F(x) dx \cong F(x_h)x_h, \quad (2)$$

где a — равновесное расстояние между поверхностями контактирующих тел; $F(x)$ — сила притяжения между 1 см^2 поверхности двух контактирующих тел при расстоянии x между ними; $F(x_h)$ — максимальное усилие отрыва, нормальное к поверхности контакта. В ур-нии (2)

величина $F(x_h) \cong \frac{W_A}{x_h}$ является

теоретическим значением прочности адгезионных связей. Из-за неодновременности нарушения межатомных связей вдоль поверхности раздела, концентрации напряжений, наличия дислокаций и др. дефектов в межфазной области реальное значение экспериментально определяемой прочности сцепления твердых поверхностей намного (на один-два порядка) ниже ее теоретического значения, подобно тому как реальная прочность твердого тела намного ниже теоретически возможной. Отрыв по контактной поверхности двух твердых тел возможен только в том случае, если сцепление между телами намного меньше когезионной прочности каждого из них. Часто отрыв носит смешанный (адгезионно-когезионный) характер. А. обу-

Характеристики адгезии жидких тел к твердым

Контактная система	Т-ра системы, °C	θ	σ , эрг/см ²	W_A , эрг/см ²
Олово — графит	1000	149	450	65
Германий — графит	1000	139	660	100
Медь — окись алюминия	1150	129	1300	460
Медь + 6 ат.% Ti — окись алюминия	1150	21	1300	2480
Золото — окись алюминия	1150	135	1100	308
Медь — алмаз	1150	146	1300	230
Медь + 0,4% Cr — алмаз	1150	37	1300	2300
Ni (C) — графит	1500	115	1446	835
42% SiO ₂ + 28% N ₂ O + 30% B ₂ O — сталь	800	47	233	376

Примечание: Ni (C) — сплав, насыщенный углеродом до равновесной концентрации при данной т-ре.

словлена ван-дер-ваальсовыми (дипольными, индукционными, дисперсионными) силами с энергией связи $10^1 - 10^2$ эрг/см² и гомео- или гетерополярными силами с энергией связи 10^3 эрг/см². Дисперсионное взаимодействие (ван-дер-ваальсовы силы) является универсальным и проявляется в той или иной мере при контакте любых двух тел, однако определяющим оно становится лишь в контактных системах, где нет хим. межфазной связи. Различают контактные системы равновесные, в к-рых хим. потенциалы компонентов контактирующих фаз одинаковы, и неравновесные — с неодинаковыми потенциалами. В химически равновесных системах адгезионные связи локализуются на атомах у поверхности каждой фазы, происходит взаимонасыщение свободных валентностей граничных атомов тел (при близости природы и св-в последних), не сопровождающиеся разрывом межатомных связей в объеме каждой фазы. В химически неравновесных системах на границе раздела протекает хим. реакция, сопровождающаяся частичным разрывом межатомных связей в объеме каждой фазы, образуются промежуточные хим. соединения различных типов, происходит *диффузия*, растворение одной фазы в другой. Первоначальная граница между фазами размывается, часто формируется новая (напр., между одной из фаз и слоем промежуточного хим. соединения). Явление А. имеет большое значение во многих областях техники и технологии, прежде всего при *пайке* материалов, *сварке* материалов, *лужении*, склеивании, нанесении покрытий (см. *Эмалирование*), когда в начальной стадии одна из фаз (напр., припой) находится в жидком состоянии.

В этом случае, хотя реальная прочность паяного, сварного или клееного шва намного ниже теоретически рассчитанной исходя из равновесной величины удельной работы А., высокие значения этой работы являются необходимым условием создания прочного соединения. Высокая А. жидкого припоя к твердой поверх-

ности (по сравнению с когезией припоя) определяет также его высокие капиллярные свойства: хорошее смачивание и растекание, заполнение зазоров (при пайке), углублений и пор на поверхности. Иногда физико-химическая А. может дополняться т. н. механической А., при к-рой происходит мех. зацепление затвердевшего припоя или клея за неровности и шероховатости твердой поверхности. А. металлов (напр., меди, серебра, олова, германия, свинца, индия) к неметаллическим материалам (*окислам*, *стеклокерамическим материалам*, *углеграфитовым материалам*, *алмазам*), когда между фазами нет хим. взаимодействия, невелика (сотни эрг/см²), и эти металлы в расплавленном состоянии не смачивают указанные материалы. Большие значения А. (тысячи эрг/см²) характерны для металлов с высоким сродством к веществу контактирующей фазы (напр., хрома и титана к алмазу и графиту), причем вследствие *адсорбции* А. резко увеличивается даже при небольших добавках химически активных металлов в неактивные (рис.). На этом основано использование для пайки адгезионно-активных *припоев*, в частности широко используемых титаносодержащих сплавов. В машинах и механизмах А. может привести к повышенному износу трущихся деталей, что устраняют смазкой.

Лит.: Аппен А. А. Температууроустойчивые неорганические покрытия. Л., 1967; Найдич Ю. В. Контактные явления в металлических расплавах. К., 1972; Смачиваемость и поверхностные свойства расплавов и твердых тел. К., 1972; Дерягин Б. В., Кротова Н. А., Смилга В. П. Адгезия твердых тел. М., 1973; Адам Н. К. Физика и химия поверхностей. Пер. с англ. М.— Л., 1947. Ю. В. Найдич.

АДОБА (исп. *adobe*, от араб. ат-туб), а до б — то же, что и *саман*.

АДСОРБЦИОННАЯ УСТАЛОСТЬ — усталость материала, усиливающаяся под влиянием *адсорбции* поверхностно-активных веществ окружающей среды. Эффект А. у. установлен в 1948 в СССР. Проявляется на внешней или развитых внутренних поверхностях дефектов материала, возникающих под воздействием циклических (контактных, растяжение — сжатие, круговой изгиб) напряжений. Наиболее подвержены

у. хрупкие материалы (напр., с трещиноподобными дефектами), что объясняется увеличением плотности поверхностной энергии за счет субмикротрещин. При этом поверхностно-активное вещество, которое адсорбировалось на стенках дефектов, раскрывшихся вследствие растяжения, препятствует их закрытию при напряжениях обратного знака. Таким образом, адсорбционное воздействие сказывается гл. обр. на развитии трещин, а не на их возникновении (в отличие от коррозионного, эрозийного или кавитационного воздействия). Менее подвержены А. у. пластические материалы. Адсорбционное воздействие зависит от окружающей среды, частоты и вида нагружения материала. Предел А. у., напр., стали марки Ст. 45, закаленной на мартенсит, в активированных маслах ниже на 20% предела усталости той же стали в воздухе, а в водных растворах изоамилового спирта — на 35%. Чем выше частота нагружения, тем ниже эффект адсорбционного воздействия. При контактном нагружении А. у. уменьшается в несколько раз, в то время как при круговом изгибе — всего на несколько десятков процентов. Большие амплитуды напряжений способствуют проявлению усталости, причем цикл растяжения менее опасен для А. у., чем цикл сжатия. Охлаждающий эффект среды повышает предел усталости. На А. у. влияют также наклеп, изменение величины остаточных напряжений; влияние чистоты поверхности не выяснено. А. у. чаще всего наблюдается не в чистом виде, а предшествует другим, более сильным воздействиям, напр. коррозионному (см. *Коррозионная усталость*) или эрозийному (см. *Эрозия металлов*). Для того, чтобы увеличить сопротивление материала А. у., прибегают к накатке поверхности роликами, полированию, созданию остаточных напряжений сжатия. Адсорбционное воздействие облегчает мех. обработку материалов давлением, резанием, измельчением и т. д. Эффект действия поверхностно-активных веществ используется также для ускорения тренировки (упрочнения) материала, т. е. накопления в нем изменений, увеличивающих сопро-

тивление усталости. См. также *Усталость материалов*.

Лит.: Карпенко Г. В. Влияние масла на втомну міцність металів. «Доповіди АН УРСР», 1949, № 6; Карпенко Г. В. Влияние поверхностно-активных веществ на усталость стали. «Доклады АН СССР. Новая серия», 1950, т. 73, № 6; Л и х т м а н В. И., Р е б и н д е р П. А., Карпенко Г. В. Влияние поверхностно-активной среды на процессы деформации металлов. М., 1954. Г. В. Карпенко.

АДСОРБЦИЯ (от лат. ad — на, при и sorbeo — поглощаю) — поглощение вещества (адсорбата) из газообразной среды или жидкого раствора поверхностью твердых или жидких тел (адсорбентов). В результате А. в поверхностном слое адсорбента увеличивается концентрация адсорбата. Адсорбционный процесс происходит под действием молекулярных сил между частицами поверхности адсорбента и окружающего адсорбата. А. — частный случай сорбции, нередко сопровождается абсорбцией или хим. реакциями между адсорбатом и адсорбентом. К важнейшим техническим адсорбентам относятся мелкозернистые (высокодисперсные) и пористые твердые тела, удельная поверхность к-рых достигает многих сотен квадратных метров на грамм, — *алюмогели, аэросилы, силикагели, цеолиты* (см. также *Молекулярных сит материалы*), губчатая платина и др. При А. на поверхности частиц или пор образуются слои адсорбата толщиной в одну (мономолекулярная А.), две или несколько (полимолекулярная А.) молекул. Различают А. физическую и химическую (см. *Хемосорбция*). Физическая А. обусловлена ван-дер-ваальсовыми или электростатическими силами притяжения частиц адсорбата к частицам поверхностного слоя адсорбента, зависит от природы адсорбата и адсорбента, увеличивается с повышением давления и понижением т-ры их. пропорциональна удельной поверхности (поверхности 1 г) адсорбента, определяемой степенью его пористости и дисперсности. При физической А. адсорбированные частицы сохраняют свои индивидуальные св-ва, в отличие от хемосорбции, когда действуют хим. силы, и адсорбат, реагируя с адсорбентом, образует

на его поверхности хим. соединения. Во время физической А. газа или пара происходит и обратный процесс — выделение адсорбированных частиц поверхностью адсорбента, т. е. *десорбция*. Через некоторое время величины скоростей этих процессов становятся одинаковыми, т. е. в системе адсорбат — адсорбент наступает динамическое равновесие. В этом случае зависимость между количеством газа (пара) a , поглощаемого единицей поверхности, и его давлением p (или относительным давлением $\frac{p}{p_s}$, где p_s — давление насыщенного пара) при одинаковой т-ре графически изображается изотермами А. (рис.). Для однородной поверхности изотерма газа или слабо адсорбирующегося пара с повышением давления сначала растет (рис., кривая 1), а затем, когда эта поверхность покрывается плотным слоем адсорбата толщиной в одну молекулу, становится неизменной (a_m — предельное количество адсорбируемого вещества). Изотермы такого типа (мономолекулярной А.) описываются ур-нием Ленгмюра

$$\frac{a}{a_m} = \frac{Kp}{1 + Kp},$$

где K — константа равновесия, приближенно учитывающая взаимодействие адсорбат — адсорбент. Для полимолекулярной А. однородной поверхностью используют ур-ние Брунауэра, Эмметта и Теллера (т. н. ур-ние БЭТ)

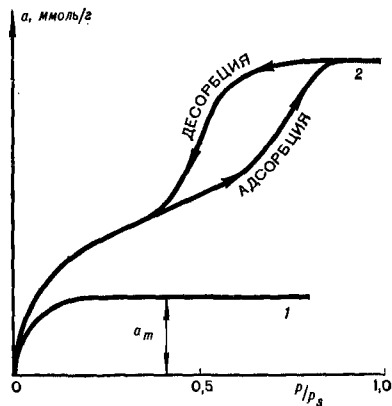
$$\frac{a}{a_m} = \frac{C \frac{p}{p_s}}{\left(1 - \frac{p}{p_s}\right) \left[1 + (C - 1) \frac{p}{p_s}\right]}$$

где C — константа, связанная с «чистой» теплотой А. (за вычетом теплоты конденсации) в первом слое и с т-рой. Из-за конденсации газа или пара в порах (капиллярной конденсации) А. становится необратимой, вследствие чего появляется изотерма с характерной петлей ги-

стерезиса (рис., кривая 2). Процесс А. используют для разделения газовых и жидких смесей (методом хроматографии), при *модифицировании* поверхности материалов, крашении тканей, флотации, для извлечения некоторых металлов из разбавленных растворов, стабилизации электрических св-в полупроводниковых приборов и др. В промышленности А. осуществляют в спец. аппаратах (адсорберах) статическим (из определенного объема газа, пара, раствора) или динамическим (из потока газа, пара, жидкости) методом, во взвешенном (кипящем) слое и др. способами. Одним из проявлений А. является адсорбционное понижение прочности твердых тел (эффект Ребиндера), к-рое облегчает обработку металлов давлением и резанием, диспергирование твердых тел, бурение горных пород и т. п. Адсорбционные процессы, протекающие при воздействии рабочих сред, часто влияют на эксплуатационные св-ва конструкционных материалов, вызывая водородную *хрупкость*, *коррозионную усталость*, коррозионное растрескивание и др.

Лит.: Мухленов Н. П. (и др.). Общая химическая технология. М., 1970; Карпенко Г. В. Про фізико-хімічну механіку металів. К., 1973; Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. Пер. с англ. М., 1970; Строение и свойства адсорбентов и катализаторов. Пер. с англ. М., 1973.

Изотермы адсорбции газа или пара (поверхность однородная); 1 — изотерма типа Ленгмюра; 2 — изотерма с петлей гистерезиса.



АЗОТ (Nitrogenium; от греч. *ἄζωος* — безжизненный, лат. назв. — от греч. *νίτρον* — селитра и *γεννάω* — рождаю, производжу), N — хим. элемент V группы периодической системы элементов; ат. н. 7, ат. м. 14,0067. В соединениях А. проявляет все формальные степени окисления от -3 (в $\text{Li}_3\text{N}, \text{NH}_3$) до $+5$ (в N_2O_5). Природный А. состоит из стабильных изотопов ^{14}N (99,635%) и ^{15}N (0,365%); получены радиоактивные изотопы ^{12}N , ^{13}N , ^{16}N и ^{17}N с периодами полураспада соответственно 0,0125 сек, 10,1 мин, 7,4 и 4,14 сек. А. открыт в 1772 шотл. исследователем Д. Резерфорд, сжигая фосфор и др. вещества в стеклянном колоколе. Начало пром. применения атм. А. относится к 1904 (произ-во кальций-цианида по способу Франка и Каро). Содержание А. в земной коре — 0,04%, осн. его часть (около $4 \cdot 10^{15}$ т) сосредоточена в атмосфере (в виде молекул N_2). В воздухе свободного А. — 75,5%. А. — газ без цвета, запаха и вкуса, не горит и не поддерживает горения др. веществ, трудно сжижается. Осн. термодинамические параметры: критическая точка — т-ра 126,05 К ($-147,1^\circ\text{C}$), давление 34,6 кгс/см², плотность 0,311 г/см³; тройная точка — т-ра 63,15 К ($-210,00^\circ\text{C}$), давление 94,01 мм рт. ст.; $t_{\text{кип}} = 77,35$ К ($-195,80^\circ\text{C}$), теплота плавления 6,09 ккал/кг, теплота испарения 47,6 ккал/кг. Плотность жидкого А. 0,808 г/см³. Коэфф. теплопроводности (т-ра 0°C , давление 1,0332 кгс/см²) 0,0205 ккал/м · ч · град, теплоемкость (т-ра 20°C , давление 1,0332 кгс/см²) $c_p = 0,250$ ккал/кг · град, $c_v = 0,173$ ккал/кг · град, $c_p/c_v = 1,40$. Растворимость в воде 23,2 (т-ра 0°C) и 14,0 (т-ра 25°C) см³/л. С повышением парциального давления растворимость А. увеличивается. Кристаллические модификации: кубическая с плотностью 1,0265 г/см³ (т-ра 21 К или $-252,15^\circ\text{C}$), устойчивая ниже т-ры 35,6 К ($-237,56^\circ\text{C}$); гексагональная с плотностью 0,8792 г/см³ (т-ра 63 К или $-210,16^\circ\text{C}$), устойчивая выше т-ры 35,6 К ($-237,56^\circ\text{C}$), и модификация, образующаяся при давлении выше 4804 кгс/см² и т-ре 44,5 К ($-228,6^\circ\text{C}$). Плотность «воз-

душного» А., содержащего 1,28% Ag, 1,2567 кг/м³, растворимость в воде при т-ре 0°C составляет 23,6 см³/л. В обычных условиях А. очень инертен, что объясняется высоким значением теплоты атомизации (225 ккал/моль). При комнатной т-ре А. реагирует только с литием, образуя нитрид лития (Li_3N). Высокие т-ры ($2000-3000^\circ\text{C}$), давление, тлеющий электрический разряд, искровой разряд, наличие катализатора резко повышают активность А. Образующийся при электрических разрядах атомарный А. уже при комнатной т-ре соединяется с ртутью, серой и фосфором. С галогенами А. непосредственно не взаимодействует, косвенным путем получены неустойчивые взрывчатые галогениды NG_3 и галогеназиды GN_3 . При высоких т-рах, давлении и при наличии катализатора А. непосредственно взаимодействует с водородом, кислородом, углеродом, мн. металлами и карбидом кальция. Взаимодействуя с металлами и полуметаллами, А. образует нитриды. Получены также комплексные соединения, в к-рых молекула N_2 является лигандом. В лабораторных условиях А. получают нагреванием концентрированного раствора азотистокислого аммония NH_4NO_2 (практически используют смесь $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaNO}_2$), нагреванием смеси грубо измельченных бихромата калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и сульфата аммония. Наиболее чистый А. получают термическим разложением аммиака (при т-ре 1000°C) или азиды натрия (при т-ре выше 280°C). В пром-сти А. получают фракционированной перегонкой жидкого воздуха, а также извлечением из отходящих газов различных произ-в. Чистый «воздушный» А. получают сжиганием метана с последующим отделением воды, углекислого газа и др. примесей синтетическими цеолитами. Осн. часть свободного А. применяют для произ-ва аммиака. А. используют также как инертную среду при разнообразных хим. и металлургических процессах, сварке металлов, в произ-ве электровакуумных приборов, электроламп, газовых термометров и др. Жидкий

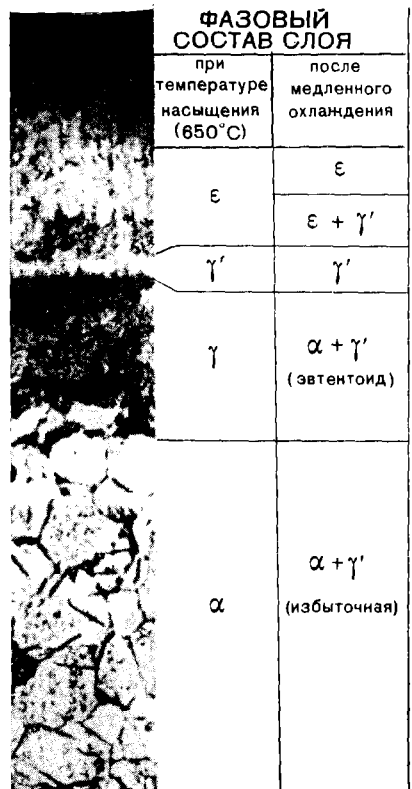
А. используют для создания вязких т-р. Широко применяются соединения А. Во всех промышленно развитых странах производство и потребление азота возрастает. См. также *Азотирование*, *Азотистая сталь*.

Лит.: Самсонов Г. В. Нитриды. К., 1969; Некрасов Б. В. Основы общей химии, т. 1. М., 1973; Кислород. Справочник, ч. 1—2. М., 1967—73; Реми Г. Курс неорганической химии, т. 1. Пер. с нем. М., 1972. В. Л. Павлов.

АЗОТИРОВАНИЕ, н и т р и р о в а н и е — насыщение поверхностного слоя металлических изделий *азотом*. Азотированные слои отличаются повышенными *твердостью*, *износостойкостью*, пределом усталости (см. *Усталость материалов*) и *коррозионной стойкостью* в различных средах (остальная толща изделий сохраняет свойства исходного материала). А. подвергают термически (см. *Закалка*, *Отпуск* в термообработке) и механически (включая шлифование) обработанные поверхности изделий из сплавов железа: *углеродистых сталей*, *легированных конструкционных сталей*, *инструментальных сталей*, *нержавеющих сталей*, *жаропрочных сталей*, *высокопрочных магниевых чугунов*, а также из некоторых цветных тугоплавких металлов. Перед А. обработанную поверхность тщательно очищают и обезжиривают. А. поверхностей изделий из сплавов железа проводят, используя герметически закрытые муфельные печи, гл. обр. в среде газообразного аммиака (NH_3) при т-ре 500—700° С (прочностное А.). В этом интервале т-р происходит диссоциация (распад) аммиака по реакции $\text{NH}_3 \rightarrow \text{3H} + \text{N}$. Выделяющийся атомарный азот адсорбируется (см. *Адсорбция*) поверхностью металла и диффундирует (см. *Диффузия*) в кристаллическую решетку металла, образуя различные азотистые фазы. В системе железо — азот при т-ре ниже 591° С последовательно возникают такие фазы: α — твердый раствор азота в альфа-железе (азотистый *феррит*, содержащий при нормальной т-ре около 0,01% N. См. также *Альфа-фаза*); γ' — нитрид Fe_4N (5,7—6,1% N) с узкой областью

гомогенности (см. также *Внедрения фазы*); ϵ — твердый раствор на основе нитрида Fe_3N (8—11,2% N. См. также *Эпсилон-фаза*). При т-ре выше 591° С образуется, кроме того, фаза γ (рис.) — твердый раствор азота в гамма-железе (азотистый *аустенит*, претерпевающий эвтектоидный распад после медленного охлаждения и *мартенситное превращение* вследствие быстрого охлаждения. См. также *Гамма-фаза*). Азотистый *эвтектоид* содержит 2,35% N и состоит из смеси фаз α и γ' . После А. изделия охлаждают вплоть до т-ры 200° С также в среде аммиака. В результате А. твердость поверхностных слоев изделий из железа и углеродистых нелегированных сталей повышается незначительно, твердость же азотирован-

Микроструктура поверхностного слоя изделия из стали марки Ст.10, азотированного при температуре 650° С в течение 8 ч и затем медленно охлажденного.



ных слоев легированных сталей достигает 1200 HV, сохраняясь при повторных нагревах до t-ры 550—600° С. Высокой твердостью и износостойкостью поверхностного слоя отличаются, напр., изделия из азотированной стали марки 38ХМЮА. Больше всего повышают твердость алюминий, титан, ванадий, хром, молибден и др. нитридообразующие элементы, растворяющиеся в альфа-железе и нитридной фазе γ' в значительных количествах. Атомы этих элементов, внедренные в кристаллическую решетку железа, повышают растворимость азота в легированном феррите в десятки раз, усиливая эффект *дисперсионного твердения*. К тому же молибден способствует устранинию отпускной хрупкости стали при медленном охлаждении от t-ры А. В азотированных слоях возникают значительные остаточные напряжения сжатия, вследствие чего повышается предел усталости, и очаг возможного усталостного разрушения переходит под эти слои. Предел усталости мелких изделий при наличии на поверхности концентраторов напряжений (см. *Концентрация напряжений*) увеличивается более чем на 100%. Меньший эффект отмечается у крупных изделий. На А., происходящее при сравнительно низких t-рах, затрачивают больше времени, чем, напр., на газовую цементацию, также способствующую повышению твердости поверхностных слоев изделий. На получение азотированного слоя толщиной 0,3—0,6 мм необходимо затратить (при t-ре 500—520° С) от 24 до 90 ч. Время А. сокращается в 1,5—2 раза при двухступенчатом режиме: сначала процесс ведут при t-ре 500—520° С, а затем при t-ре 540—600° С. Повышение t-ры ускоряет процесс, но снижает твердость поверхностного слоя изделий. Антикоррозионное А. отличается от прочностного более высокой t-рой процесса (600—700° С) и его продолжительностью: для мелких изделий — 15 мин, для крупных — до 10 ч. За это время на поверхность изделия образуется тонкий (0,01—0,04 мм) слой нитрида Fe_3N , отличающийся высокой коррозионной стойкостью. После А. изделие окончательно пилифуют или доводят, его

уже не нужно закаливать (поверхностный слой достаточно тверд), что позволяет избежать возможных при термической обработке пороков, мегалла. Места изделия, не подлежащие А., защищают от воздействия азота покрытиями из олова, *жидкого стекла* (конструкционные стали) или никеля (нержавеющие и жаропрочные стали). Хрупкость азотированного слоя, возрастающую с увеличением концентрации азота, уменьшают деазотированием (изотермической выдержкой в среде диссоциированного аммиака, без поступления новых его порций) или А. в среде аммиака разбавленного инертными газами. Широкое применение получило А. поверхностей изделий из сплава *о в т и т а н а*, дающее возможность повышать износостойкость, а также уменьшать схватывание трущихся поверхностей. А. проводят при t-ре 850—950° С в течение 10—50 ч в среде технического азота, очищенного от кислорода и влаги. На поверхности изделий образуется тонкий (0,1—0,15 мм) твердый слой нитрида TiN , а глубже — слой раствора азота в альфа-титане. Более высокая t-ра процесса недопустима из-за сильного роста зерна в сердцевине. Твердость обычно не превышает 850 HV. Осн. недостаток — хрупкость азотированного слоя. А. экономически целесообразно применять для некоторых инструментов деталей авиадвигателей, дизелей турбин, приборов. Поверхности коленчатых валов, шестерен, штампов, пресс-форм и др. изделий иногда азотируют в расплавленных цианистых солях (40% KCN , 60% $NaCN$), через к-рые пропускают сухой воздух. Процесс ведут при t-ре 570° С, и в сталь диффундирует в основном азот этих солей. За 0,5—3 ч толщина слоя увеличивается с 0,15 до 0,5 мм. Токсичные и дорогостоящие цианистые соли постепенно заменяют менее токсичными и более дешевыми, напр. смесью мочевины и кальцинированной соды. При индивидуальном и мелкосерийном произ-ве иногда применяют А. изделий в тлеющем разряде (в газовой среде) при пониженном давлении.

Лит.: Юргенсон А. А. Азотирование в черномашиностроении. М., 1962; Миякевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М., 1965; Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. М., 1972; Защитные покрытия на металлах, в. 6. К., 1972. А. В. Белоцкий.

АЗОТИСТАЯ СТАЛЬ — сталь, легированная азотом. Содержит азот в виде атомов, внедренных в кристаллическую решетку железа, и в виде соединений осн. элементов стали с азотом — нитридов и карбонитридов. Относится к высоколегированным сталям спец. назначения: коррозионностойким (см. *Коррозионно-стойкая сталь*), жаростойким (см.

Жаростойкая сталь) и жаропрочным (см. *Жаропрочная сталь*). В СССР создание А. с. началось в 50-е гг., после освоения пром. методов получения азотированных *ферросплавов*. Введение в сталь азота дает возможность расширять область гамма-железа, стабилизировать (значительно эффективнее, чем при введении никеля) *аустенит*, получать аустенитную структуру при частичной или полной замене дефицитного никеля марганцем, повышать *деформируемость* при обработке давлением, улучшать *свариваемость* и др. св-ва стали (табл. 1, 2, рис.). К тому же азот повышает прочность высококоррозионностойких хромоникельмолибденовых ау-

Таблица 1. Химический состав азотистых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %							
	С не более	Si не более	Mn	Cr	Ni	N	S не более	P не более
Деформируемые стали								
07X21Г7АН3	0,07	0,7	6,0—7,5	19,5—21,0	5,0—6,0	0,15—0,25	0,030	0,030
10X14АГ15	0,10	0,8	14,5—16,5	13,0—15,0	—	0,15—0,25	0,030	0,045
12X17Г9АН4	0,12	0,8	8,0—10,5	16,0—18,0	3,5—4,5	0,15—0,25	0,020	0,035
15X17АГ14	0,15	0,8	13,5—15,5	16,0—18,0	Не более 0,6	0,25—0,37	0,020	0,035
Литые стали								
08X17АГ12Л	0,08	0,8	11,0—13,0	16,0—18,0	—	0,19—0,23	0,030	0,030
10X18АГ15Л	0,10	0,8	14,0—16,0	17,0—19,0	—	0,23—0,35	0,030	0,030

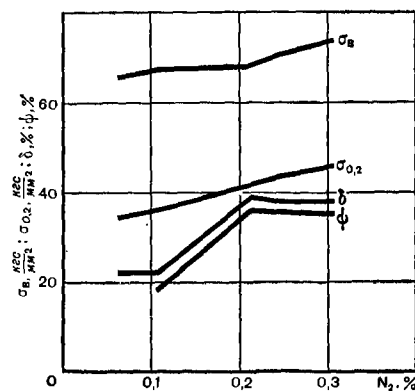
Примечание: Наличие в стали азота (как легирующего элемента) обозначают буквой А, к-рую помещают после буквы Х (хром) или Г (марганец) с цифрами, но не в конце.

Таблица 2. Свойства азотистых сталей

Марка стали	Состояние образца	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	α_H ,	НВ	
		кгс/мм ²		%		кгс·м/см ²		
Деформируемые стали								
07X21Г7АН3	Закаленный	65	35	40	50	10	170—190	
10X14АГ15	»	70	35	35	50	10	220—280	
12X17Г9АН4	»	65	35	50	50	15	170	
15X17АГ14	»	70	35	40	50	10	220—280	
Литые стали								
08X17АГ12Л	Литой	61—69	31—35	30—47	41—55	25—28	180—200	
	Закаленный	66—73	36—40	48—51	46—55	26—32	180—200	
	10X18АГ15Л	Литой	63—70	33—43	38—43	43—48	9—19	210—230
		Закаленный	69—71	38—45	38—47	50—59	24—35	210—230

содержанием азота менее 0,03%, не снижая (в отличие от углерода) их коррозионную стойкость. Растворимость азота в жидком железе увеличивается при введении в расплав хрома, марганца, ванадия, ниобия и некоторых др. элементов. Количество вводимого в сталь азота устанавливается в зависимости от содержания легирующих элементов. Повышение количества азота сверх допустимых значений, соответствующих его растворимости в стали, приводит к образованию свищей, приводит к образованию дефектам слитка (см. *Дефекты металлов*). А. с. выплавляют в электр. печах открытого типа, вводя азот с азотированным феррохромом или марганцем. Разработан также способ плазменного подогрева переплава, при котором азот поступает в сталь из аргоно-азотной плазмы. В этом случае количество усвоенного азота выше, чем при обычной плавке. А. с. применяют в деформированном (преим. в виде листов) и литом состоянии после закалки с т-р 1000—1150° С (охлаждение — в воде). Коррозионностойкие деформируемые А. с. используют: марки 07X21Г7АН5 — для сварных изделий, эксплуатируемых при т-рах до —253° С и в средах ср. агрессивности; марки 10X14Г15 — для прочных и легких конструкций, соединенных точечной электросваркой; марки 12X17Г9АН4 — для изделий, находящихся в атм. условиях; марки

Зависимость механических свойств литой азотистой стали марки 10X18Г15Л от содержания азота.



15X17Г14 — для изделий, эксплуатируемых в средах слабой агрессивности. Весьма перспективны и коррозионностойкие литые А. с., отличающиеся повышенной прочностью. Из жаростойкой и жаропрочной А. с. марки 12X25Н16Г7АР изготавливают детали газопроводных систем, листовые и сортовые детали, эксплуатируемые при умеренных напряжениях; из жаростойкой и жаропрочной А. с. марки 55X20Г9АН4 — клапаны автомобильных двигателей. Марки деформируемых А. с., технические требования к этим сталям включены в ГОСТ 5632—72.

Лит.: Королев М. Л. Азот как легирующий элемент стали. М., 1961; Приданцев М. В., Талов П. П., Левин Ф. Л. Высокопрочные аустенитные стали. М., 1969; Химушин Ф. Ф. Нержавеющие стали. М., 1967; Бабков А. А., Приданцев М. В. Коррозионностойкие стали и сплавы. М., 1971.

Н. П. Александрова.

АЗУРИТ (от араб. лазавард—голубой цвет), $\text{Cu}_2\text{Cu}(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$ — минерал класса карбонатов, группы малахит-а. Землистая разновид А. — медная синь. Хим. состав (%): CuO — 69,2; CO_2 — 25,6; H_2O — 5,2. Структура островная, сингония моноклиновая, вид симметрии призматический. Образует таблитчатые и призматические кристаллы, друзы, радиально-лучистые агрегаты. Чаще всего встречается в виде мелкозернистых, сталактитовых и землистых агрегатов, корочек, присыпок. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (011), средняя по (100) и несовершенная по (110). Плотность 3,7—3,9 г/см³. Твердость 3,5—4. Хрупкий. Цвет кристаллов (см. *Цвет минералов*) темно-синий, землистых агрегатов — ярко-голубой, светло-синий. Черта голубая. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Излом (см. *Излом минералов*) раковистый. Кристаллы прозрачные или просвечивают. Умеренный плеохроизм в синих тонах. Показатели преломления: $n_g = 1,838$; $n_m = 1,758$; $n_p = 1,730$; $2V = 67^\circ$. Растворяется в к-тах (с шипением) и в аммиаке. Образуется вследствие окисления первичных рудных минералов меди: халькопирита, борнита, халькозина, ковеллина и др. Известны

исевдоморфозы (см. *Псевдоморфизм*) по малахиту, *куприту*, церусситу и тетраэдриту. А. получают нагреванием сульфата или нитрата меди с *кальцитом* и йодой в запаянной трубке. Используют при выплавке меди. Изготовлении синей краски. Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптические свойства искусственных минералов. Пер. с англ. М., 1967; Костов И. Минералогия. Пер. с англ. М., 1971. В. А. Сутрычев.

АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ, радиоактивационный анализ — анализ качественного и количественного состава материала (вещества), основанный на активации (искусственном возбуждении *радиоактивности*) атомных ядер содержащихся в нем элементов с последующим измерением возникшего радиоактивного излучения. При А. а. образец материала облучают элементарными частицами (нейтронами, протонами, электронами и др.) или жесткими гамма-лучами, что вызывает ядерные реакции, в результате которых образуются радиоактивные изотопы исследуемых элементов (или

радиоактивных изотопов новых элементов). По характеру радиоактивности изотопов (типу распада, энергии излучения) судят о качественном составе материала, а по интенсивности излучения — о его количественном составе. А. а. впервые применили в 1936 венгерские химики Д. Хевеши и Г. Леви. А. а. отличается высокой чувствительностью, экспрессностью, надежностью. При А. а. анализируемый образец не загрязняется посторонними примесями, анализ может быть выполнен с использованием весьма незначительного количества исследуемого материала. К тому же А. а. можно осуществлять без разрушения анализируемого образца, что дает возможность исследовать, напр., изделия из драгоценных металлов. Несмотря на то, что А. а. ограничивает применение А. а. необходимость использования сравнительно сложного и дорогостоящего оборудования (часто со специальной защитой); некоторые хим. элементы невозможно достаточно эффективно активировать (для анализа); кроме того, необходимо принимать во внимание и возможность протекания побочных ядерных реакций. Наиболее распространенный метод

Чувствительность нейтроно-активационного анализа

Определяемый элемент	Продукт активации	Чувствительность, %	Определяемый элемент	Продукт активации	Чувствительность, %
Германий	⁷⁰ Ge	5 · 10 ⁻⁹	Мышьяк	⁷⁶ As	5 · 10 ⁻¹¹
Железо	⁵⁹ Fe	1 · 10 ⁻⁷	Натрий	²⁴ Na	1 · 10 ⁻¹⁰
Золото	¹⁹⁸ Au	5 · 10 ⁻¹²	Никель	⁵⁸ Ni	1 · 10 ⁻⁸
Индий	¹¹⁶ In	1 · 10 ⁻¹¹	Олово	¹²¹ Sn	5 · 10 ⁻⁹
Йод	¹²⁹ I	1 · 10 ⁻⁹	Ртуть	²⁰³ Hg	1 · 10 ⁻⁹
Кадмий	¹¹⁵ Cd	1 · 10 ⁻⁹	Свинец	²⁰⁹ Pb	5 · 10 ⁻⁶
Калий	⁴² K	1 · 10 ⁻⁹	Селен	⁸¹ Se	5 · 10 ⁻⁸
Кальций	⁴⁶ Ca	1 · 10 ⁻⁷	Сера	³² S	5 · 10 ⁻⁸
Кислород	¹⁸ F	5 · 10 ⁻⁷	Серебро	¹¹⁰ Ag	5 · 10 ⁻⁹
Кобальт	⁶⁰ Co	5 · 10 ⁻¹⁰	Сурьма	¹²² Sb	1 · 10 ⁻¹⁰
Кремний	³¹ Si	1 · 10 ⁻⁸	Фосфор	³² P	5 · 10 ⁻¹⁰
Марганец	⁵⁶ Mn	1 · 10 ⁻¹¹	Хлор	³⁶ Cl	5 · 10 ⁻⁹
Медь	⁶⁴ Cu	1 · 10 ⁻¹⁰	Хром	⁵¹ Cr	1 · 10 ⁻⁸
Молибден	⁹⁹ Mo	1 · 10 ⁻⁸	Цинк	⁶⁹ Zn	5 · 10 ⁻⁹

Примечания: 1. Образцы активировались потоком тепловых нейтронов интенсивностью 10¹² нейтрон/см²сек до насыщения. 2. Данные получены после химического отделения активированных элементов.

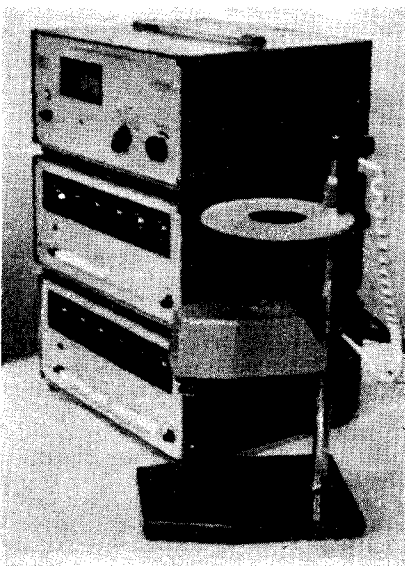
активации — облучение анализируемого образца нейтронами, на чем основан самый чувствительный вид А. а. — нейтроно-активационный анализ (табл.). Источниками нейтронов служат ядерные реакторы; естественные (напр., сплавы бериллия с полонием либо радием) или искусственные (напр., калифорний-252) радиоактивные элементы; ускорители или генераторы, где реакции заряженных частиц приводят к образованию потока нейтронов. По мере развития техники ускорения заряженных частиц в бетатронах и микротронах все большее распространение находит гамма-активация — основа гамма-активационного анализа, с помощью которого круг определяемых хим. элементов в том или ином материале может быть значительно расширен. Вариантом его является метод анализа, основанный на облучении исследуемого образца электронами с последующей регистрацией рентгеновского излучения возбужденных атомных ядер. Методика А. а. заключается обычно в сравнении скорости распада ядер J_x облученного эталонного образца, в котором количество определяемого элемента g_0 точно известно, со

скоростью радиоактивного распада ядер J_x исследуемого образца, облученного потоком активизирующих частиц той же интенсивности. Искомое количество активированного элемента в анализируемом образце g_x находят из соотношения

$$g_x = g_0 \frac{J_x}{J_0}.$$

К осн. разновидностям А. а. относятся радиоспектральный и радиохимический анализы. Радиоспектральный А. а. основан на различии периодов полураспада и энергии радиоактивного излучения радиоизотопов, образующихся при активации. В этом случае величину J_x часто определяют радиоспектрографами. Созданы также автоматизированные установки и приборы (рис.), с помощью которых можно определить в исследуемом образце количество одного какого-либо активированного элемента или одновременно нескольких таких элементов (что часто используется для экспресс-анализа). Одна из них — автоматизированная установка К-1 — предназначена для экспрессного определения количества кислорода в различных материалах (стали, титане, меди, бериллии, твердых сплавах, тугоплавких металлах и др.) по активационной реакции $^{16}\text{O} (n, p) ^{16}\text{N}$, возбуждаемой нейтронами с энергией 14 Мэв. Радиохимический А. а. основан на предварительном хим. отделении активированного элемента и последующем определении скорости его радиоактивного распада. А. а. используется прежде всего для определения качественного и количественного состава материалов (веществ) высокой и сверхвысокой степени чистоты, напр. *полупроводниковых материалов*, материалов атомной энергетики.

Лит.: Плаксин И. Н., Старчик Л. П. Ядерно-физические методы контроля вещественного состава. Ядерные реакции и активационный анализ. М., 1966; Кузнецов Р. А. Активационный анализ. М., 1967; Гайсинский М. Ядерная химия и ее приложения. Пер. с франц. М., 1961; Боуэн Г., Гиб-



б о н с Д. Радиоактивационный анализ. Пер. с англ. М., 1968. Ю. Я. Физалков. **АКТИНИЙ** [Actinium; от греч *ἄκτις* (*aktivós*) — луч], Ac — радиоактивный хим. элемент III группы *периодической системы элементов*; ат. н. 89, массовое число наиболее долгоживущего изотопа — 227. Степень окисления +3. Металл серебристого цвета; из-за высокой *радиоактивности* светится в темноте голубым светом. Стабильных изотопов не имеет. Известно 23 радиоактивных изотопа, из к-рых наибольшее применение находят изотоп ^{227}Ac (период полураспада 21,6 года) и изотоп ^{228}Ac (период полураспада 6,13 ч). Открыт в 1899 франц. химиком А. Дебьерном при изучении отходов переработки урановых руд. Содержание в земной коре — 5×10^{-15} ат.%. Изотоп ^{227}Ac выделяют из урановых руд, изотоп ^{228}Ac — из ториевых. Вследствие малого содержания в руде (0,15 мг на 1 т урановой смоляной руды) изотоп ^{227}Ac получают облучением изотопа ^{226}Ra в ядерном реакторе. Для выделения А. применяются методы экстракции и хроматографии. Металлический А. получают восстановлением *галогенидов* парами щелочных металлов. Решетка металлического А. — кубическая гранцентрированная с периодом $a = 5,311 \text{ \AA}$, плотность $10,1 \text{ г/см}^3$, $t_{\text{пл}} = 1050 \pm 50^\circ \text{C}$, $t_{\text{кип}} \sim 3300^\circ \text{C}$. На влажном воздухе покрывается белой пленкой окиси, препятствующей дальнейшему окислению. В хим. отношении подобен лантану: образует те же нерастворимые соединения (гидроокись, фторид, фторсиликат, оксалат, фосфат и карбонат). Все известные соли изоструктурны с соответствующими солями лантана. Опасный радиоактивный яд.

Лит.: Вдовенко В. М. Современная радиохимия. М., 1969; Сиборг Г. К. и Дж. Химия актинидных элементов. Пер. с англ. М., 1960; Бэгнал К. Химия редких радиоактивных элементов. Пер. с англ. М., 1960.

Н. Б. Михеев, В. И. Спицын.

АКТИНОИДЫ [от *актин(ий)* и греч. *εἶδος* — вид, род], а к т и н и д ы — семейство из 14 хим. элементов с ат. н. 90—103, расположенных в 7

периоде *периодической системы элементов* за актинием и относящихся, как и актиний, к III группе системы. К А. принадлежат: торий, протактиний, уран, нептуний, плутоний, америций, кюрий, берклий, калифорний, эйнштейний, фермий, менделевий, nobelий и лоуренсий. Гипотезу о существовании семейства А. выдвинул в 1942 амер. химик Г. Т. Сиборг. В элементарном состоянии А. — серебристо-белые металлы. А., особенно первой половины семейства, отличаются разнообразием степеней окисления и, следовательно, хим. св-в, что объясняется особенностями их электронной структуры. В атомах А. заполняется внутренняя 5f-оболочка, имеющая сравнительно большую пространственную протяженность, и расположенные на ней электроны становятся химически более активными. В первой половине семейства А. 5f-оболочка энергетически близка к наружным оболочкам; поэтому степень окисления у первых А. больше трех. По мере заполнения электронами 5f-оболочка сжимается, активность расположенных на ней электронов падает, и у А. второй половины семейства преобладает степень окисления +3. Все А. радиоактивны. Наиболее долгоживущие изотопы у тория (массовое число изотопа 232, период полураспада $1,39 \cdot 10^{10}$ лет) и урана (массовое число изотопа 238, период полураспада $4,49 \cdot 10^9$ лет). Торий и уран встречаются в минералах, преим. в рассеянном виде. Кроме них, в природе встречаются изотопы протактиния, являющиеся дочерними продуктами радиоактивного распада изотопов тория и урана, а также следовые количества нептуния и плутония, образующиеся при ядерных реакциях изотопа урана с нейтронами спонтанного деления. Остальные А. получены искусственно — облучением урана и др. материалов нейтронами в ядерных реакторах, а также облучением спец. мишеней ядрами легких элементов на ускорителях. Мн. изотопы А. в рассеянном состоянии образуются при подземных ядерных взрывах. Плотность большинства А. близка к 20 г/см^3 . Наиболее легкоплавкие — нептуний и плутоний, т-ра плавления к-рых около 640°C . Остальные

плавятся выше т-ры 1000° С. Все А. чрезвычайно сильные электроположительные металлы. Они легко реагируют с водородом, кислородом, азотом, галогенами, серой и др. неметаллами. Однако в компактном состоянии они сравнительно стойки на воздухе. В высокодисперсной форме отличаются пиррофорностью и на воздухе сгорают с выделением большого количества тепла. При этом образуются окислы, состав которых неодинаков для разных А. Наиболеестойкой формой окислов для многих А. являются двуокиси состава MO_2 . В водных растворах А. со степенями окисления +2, +3 и +4 существуют в виде гидратированных катионов соответственно типов M^{2+} , M^{3+} и M^{4+} . Их радиусы с увеличением заряда уменьшаются, а склонность к гидролизу увеличивается. Добавление аммиака или щелочей приводит к осаждению из растворов А. труднорастворимых гидроокисей $M(OH)_3$ и $M(OH)_4$. С увеличением атомного номера А. радиусы ионов M^{3+} и M^{4+} закономерно уменьшаются (явление актиноидного сжатия). Соединения А. со степенями окисления +5 и +6 характеризуются ионными формами MO_2^+ и MO_2^{2+} . Соединения непутия, плутония и америция со степенями окисления +7 стойки в щелочных растворах в виде трехзарядных анионов. Для А. характерно образование многочисленных комплексных соединений, особенно с кислородсодержащими лигандами. В одинаковом валентном состоянии А. обнаруживают большое сходство друг с другом по составу и структуре соединений, склонности к комплексообразованию и т. п. Однако они сильно различаются в отношении легкости перехода в др. валентные формы, т. е. в реакциях окисления — восстановления. Это обстоятельство, а также различие св-в А. с разными степенями окисления широко используются в технологических и аналитических методах отделения А. друг от друга. Выделение и очистка А. — довольно сложный, трудоемкий и дорогостоящий процесс, осуществляемый преим. дистанционными методами или в спец. шкафах с защитными приспособлениями. Из всех А. прак-

тическое применение находят гл. обр. торий, уран и плутоний. Изотопы ^{233}U , ^{235}U и ^{239}Pu служат ядерным горючим в атомной энергетике. Изотопы ^{238}Pu и ^{244}Cm применяются в устройствах прямого преобразования ядерной энергии в электрическую. Такие устройства используются в качестве миниатюрных источников энергии длительного назначения для питания бортовых систем космических аппаратов. Некоторые изотопы А. применяют в медицине, дефектоскопии, активационном анализе и т. д. Практическое применение находят соединения А.: двуокиси урана и плутония, отличающиеся высокой жаропрочностью, используются в качестве делящихся композиций для ядерных реакторов; галогениды UF_4 , PuF_4 и $PuCl_3$ — сырье для получения металлических урана и плутония; летучие гексафториды урана, непутия и плутония (типа MF_6) применяют при переработке облученного ядерного горючего методами сухого фторирования и возгонки фторидов.

Лит.: Вдовенко В. М. Химия урана и трансурановых элементов. М.—Л., 1960; Гельман А. Д. (и др.). Комплексные соединения трансурановых элементов. М., 1961; Колтунов В. С. Кинетика реакций актиноидов. М., 1974; Сиборог Г., Кап Дж. Химия актинидных элементов. Пер. с англ. М., 1960; Хайд Э., Перлман И., Сиборог Г. Ядерные свойства тяжелых элементов, в. 1. Трансурановые элементы. Пер. с англ. М., 1967.

Н. Н. Крот, В. И. Спицын

АКТИНОЛИТ [от греч. $\alpha\kappa\tau\acute{\iota}\varsigma$ ($\alpha\kappa\tau\acute{\iota}\nu\omicron\varsigma$) — луч и $\lambda\acute{\iota}\theta\omicron\varsigma$ — камень], $Ca_2(Mg, Fe)_5[Si_8O_{22}](OH)_2$ — минерал класса силикатов, группы амфиболов. Волокнистые и скрытокристаллические разновидности: актинолит-асбест и нефрит (актинолитовый). Хим. состав (%): SiO_2 — 57,72; FeO — 0—42,17; MgO — 0—28,83; CaO — 13,45; H_2O — до 3. Структура цепочечная, сингония моноклиная, вид симметрии призматический. Встречается в виде длиннопризматических и игольчатых кристаллов, массивных, волокнистых и скрытокристаллических агрегатов. Спайность (см. Спайность минералов) совершенная по (110) под углом 124°.

Плотность 3,1—3,3 г/см³. Твердость 5,5—6,0. Цвет (см. Цвет минералов) зеленый. Черта бесцветная. Блеск (см. Блеск минералов) стеклянный. Прозрачный. Плеохроизм выражен слабо. Показатели преломления: $n_g = 1,64—1,67$; $n_m = 1,63—1,66$; $n_p = 1,62—1,65$; $-2V = 65—85^\circ$. В к-тах почти не растворяется. Образуется при относительно низкой т-ре. Входит в состав кристаллических сланцев, слагая подчас мономинеральные породы — актинолититы. А.-асбест в виде прожилков залегает в метаморфизованных, изверженных и осадочных породах. Нефрит образует гнезда в актинолитовых сланцах. А. получают в гидротермальных условиях при т-ре 400—450° С и давлении водяного пара ~ 1020 кгс/см². А.-асбест используют как изоляционный материал, наполнитель, для изготовления асбестовой бумаги, в асбестокартонном, асбестобакелитовом произ-ве и др. Нефрит применяется как поделочный камень.

Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Соболева М. В. Минералогия волокнистых минералов группы амфиболов и серпентина. М., 1972; Литвин А. Л. Кальциевые амфиболы (Структура, распределение катионов, параметры элементарной ячейки). К., 1973.

А. Л. Литвин.

АКУСТИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ (от греч. *ακουστικός* — слуховой) — дефектоскопия, основанная на использовании упругих (акустических) колебаний и волн в широком диапазоне частот (преим. до 10⁷ гц). Для А. д. используют различные типы упругих волн, зависящие от характера возмущения, формы тела и его размеров по сравнению с длиной волны (λ). Так, в неограниченном (бесконечном) твердом теле различают продольные волны (волны расширения — сжатия), при возникновении которых объем тела изменяется и его частицы перемещаются в направлении распространения волны, и поперечные (сдвиговые) волны, когда объем тела не изменяется и его частицы перемещаются перпендикулярно распространению волны. Скорости распространения продольных (c_1) и поперечных (c_2)

волн в пружинном изотропном теле (Изоtropия) бесконечном теле зависят от модуля упругости и плотности тела:

$$c_1 = \sqrt{\frac{H}{\rho} \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1+2\mu)}}$$

$$c_2 = \sqrt{\frac{H}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}}$$

где H — динамический модуль упругости; ρ — плотность; μ — динамический коэфф. Пуассона. Для ограниченного (не бесконечного) тела используют также поверхностные волны Релея, которые представляют собой разновидность поперечных волн с тем отличием, что поперечные колебания происходят только в поверхностном слое. Толщина слоя локализации релеевской волны может изменяться от λ до 2λ. Скорость распространения поверхностных волн близка к скорости распространения поперечных волн и может быть получена умножением ее на константу, меньшую единицы. Для стали эта константа составляет ~ 0,93. В твердых телах, у которых толщина существенно меньше двух других размеров (пластинах) и близка по величине длине волны, распространяются волны двух типов — растяжения и изгиба. Скорость распространения изгибных колебаний зависит от частоты (f) и толщины листа (d) следующим образом: $c_n = \sqrt{\pi d f \times$

$\times \sqrt{\frac{H}{3\rho(1-\mu^2)}}$. В твердых телах, размеры которых в двух направлениях значительно меньше, чем в третьем (стержнях), могут возникать волны трех типов — растяжения, изгиба и кручения. Крутильные колебания стержней распространяются с той же скоростью, что и поперечные. При определенных условиях в материале могут одновременно появляться волны различных типов, напр. если пучок ультразвуковых волн падает наклонно на поверхность раздела между двумя средами, возникают продольные и поперечные волны. Распространение волн в материале сопровождается рассеянием их энергии, что приводит к уменьшению амплитуды колебаний. Показателем этого уменьше-

$$\alpha = \frac{1}{L} \lg \frac{A_1}{A_2},$$

где A_1 — начальная амплитуда; A_2 — амплитуда после прохождения пути длиной L метров. В наиболее простых методах А. д. используют колебания звуковой частоты. Так, степень поражения *межкристаллитной коррозией* нержавеющей сталей определяют на звук по звучанию образца, брошенного на мраморную плиту. Стальной образец, в значительной мере пораженный межкристаллитной коррозией, издает звук, напоминающий удар о мраморную плиту куска дерева или кожи. Изменение звучания используют при контроле сварных соединений. С этой целью контролируемый сварной шов равномерно простучивают легким молотком, а звук колебания улавливают стетоскопом, расположенным вблизи шва. Изменение звучания свидетельствует о наличии *несилошностей*, напр. *дребезжащий* звук высокой тональности указывает на *непровар* во шве. Местоположение дефекта определяют перемещением стетоскопа вдоль шва. Специфические дефекты, напр. механическую *анизотропию* прокатанных листовых материалов, можно наблюдать визуально, если на их поверхность нанести слой мелкого сухого песка и возбудить колебания. Под действием этих колебаний на поверхности листа из песчинок образуется узор, отражающий анизотропию (т. н. *звуковые фигуры Хладни*). Низкочастотные колебания сильно искажаются под воздействием технологических шумов, и их восприятие на слух затруднительно. С повышением частоты колебаний влияние технологических шумов уменьшается, можно определять более мелкие дефекты. Кроме того, с применением излучателей, размер которых значительно превышает длину волны, высокочастотные колебания распространяются в материалах узким пучком, что обеспечивает более точное определение местоположения дефекта (см. *Ультразвуковая дефектоскопия*). Однако повышение частоты ограничивается быстрым ростом коэфф. затухания выше определенных для каждого материала

частот. Поэтому для того или иного материала выбирают оптимальный, сравнительно узкий их диапазон. Для металлов этот диапазон составляет обычно $1 \div 3$ *мгц*, для неметаллических материалов — $20 \div 150$ *кГц*. Наличие дефекта определяют обычно по изменению амплитуды или фазы акустического сигнала. Для точного определения пространственного положения дефекта пользуются прозвучиванием в различных направлениях и специальными методами расчета. Для мнемонической оценки дефектности материала применяют системы визуализации акустических изображений. Вначале акустическое поле, рассеянное объектом, собирается акустической линзой и фокусируется в звуковое изображение, а затем это изображение визуализируется с помощью различного типа акустико-оптических преобразователей, в которых используется химическое, тепловое или механическое действие акустического поля. Так, метод поверхностного рельефа жидкости основан на том, что первоначально гладкая поверхность жидкости при облучении акустическими волнами деформируется; образовавшийся при этом рельеф соответствует распределению интенсивности акустического поля и может быть сфотографирован в видимом свете. Для визуализации акустического изображения широко используют также электрические приборы, напр. электронно-акустические преобразователи. Такой преобразователь состоит из пьезоэлектрической плоской пластины, помещенной в переднюю часть передающей телевизионной трубки типа иконоскопа. Под действием звукового давления на поверхности пластины возникает изображение акустического поля в виде электрических потенциалов, которые модулируют поток вторичных электронов, выбиваемых электронным сканирующим пучком. Модулированные вторичные электроны образуют сигналы изображения, которые после усиления поступают в телевизионный приемник. Кроме визуализации плоского акустического изображения, приме-

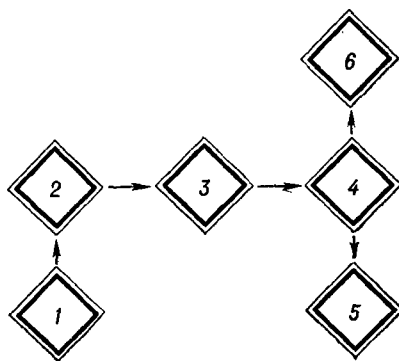
няют голографический метод, основанный на регистрации распределения акустического поля с учетом амплитуды и фазы рассеянных акустических волн и на восстановлении полного трехмерного изображения объекта. Интенсивность измеряют с помощью приемников излучения, а фазовые изменения регистрируют, используя интерференцию волн, идущих от объекта, с опорной плоской или сферической когерентной волной. Полученную интерференционную картину после визуализации фотографируют. Восстановление изображения фотографического транспаранта (голограммы) аналогично оптической голографии. Голограмма под определенным углом освещается пучком когерентного света, напр. от лазерного источника, и при этом формируется действительное или мнимое изображение объекта. Преимущество голографического метода: трехмерность восстановленного изображения, высокая помехоустойчивость, возможность многократного воспроизведения и обработки информации и ее коррекции. Помимо изучения распространения искусственно вызванных акустических колебаний, для А. д. широко используют акустическую эмиссию — излучение упругих волн, возникающих вследствие освобождения энергии в твердых телах, подвергнутых пластическому деформированию или излому. Эмиссия возникает, напр., в кристаллических материалах при движении *дислокаций*. Ускоренное движение винтовой дислокации в момент старта создает импульс смещения

$$U(v, t, y) = -\frac{b}{4\pi} \operatorname{arctg} \frac{y}{vt},$$

где b — вектор Бюргерса дислокации; v — скорость дислокации после старта; t — время. Отрыв дислокаций от облаков примесей, образование двойников, аннигиляция дислокационного скопления, раскрытие трещин и др. сопровождаются звуковым излучением. Аппаратуру для А. д. на основе акустической эмиссии komponуют обычно из стандартных электронных блоков, особенно

часто использую малошумящие твердотельные схемы. В такой аппаратуре (рис.) звуковой сигнал принимается высокочувствительным приемником-преобразователем и подается на предусилитель с коэффициентом усиления около 100. Затем сигнал проходит через электронный фильтр, где устраняется наиболее искажающая внешними помехами низкочастотная составляющая. Выделенный таким образом сигнал через усилитель подается по двум каналам: по одному — на осциллограф (для визуального наблюдения), по другому — на анализатор, где информация обрабатывается в соответствии с задачами контроля и запоминается. Для определения местоположения источника акустического сигнала используют метод триангуляции, применяют системы с тремя и более преобразователями. А. д. на основе акустической эмиссии дает возможность исследовать пластическую деформацию и разрушение материала, в частности осуществлять непрерывный контроль за образованием трещин в процессе изготовления и эксплуатации изделий. Достоинства А. д. заключаются в быстродействии (время возникновения сигнала для металлических материалов 10^{-1} — 10^{-2} мсек), высокой чувствительности (выше, чем традиционных неразрушающих испытаний), возможности контроля в эксплуатационных условиях (агрессивных средах, при по-

Функциональная схема аппаратуры для акустической дефектоскопии на основе акустической эмиссии: 1 — приемник-преобразователь; 2 — предусилитель; 3 — электронный фильтр; 4 — усилитель; 5 — осциллограф; 6 — анализатор.



вышенных температурах и т. д.), возможности определения дефекта в толще материала. Недостатки А. д. — трудность идентификации дефектов, сложность выделения полезного сигнала на фоне производственных шумов, необходимость применения связующих материалов для установки и крепления преобразователей. А. д. применяют в машино- и приборостроении — для контроля материалов, полуфабрикатов и изделий (напр., для выявления коррозионного растрескивания. См. *Коррозия металлов*), в строительстве — для контроля и диагностики бетонов и железобетонов, образцов горных пород, в сварочном произ-ве — для непрерывного контроля за качеством сварных швов, в самолетостроении и авиации, в атомной энергетике и др.

Лит.: Латишенко В. А. Диагностика жесткости и прочности материалов. Рига, 1968; Бабин Л. В., Гуревич С. Б. Акустическая голография. «Акустический журнал», 1971, т. 17, в. 4; Методы неразрушающих испытаний. Пер. с англ. М., 1972.

М. Е. Гуревич, С. М. Захаров.
АКУСТИЧЕСКАЯ УСТАЛОСТЬ — усталость материала, наступающая

Разрушение тонколистового образца из алюминиевомагниевого сплава в акустическом поле, созданном мощной сиреной.



в результате возбуждения в нем механических колебаний в диапазоне звуковых или ультразвуковых частот. Как и обычная усталость материалов, сопровождается возникновением и развитием трещин (рис.), однако есть у нее и специфические особенности, связанные с характером высокочастотного циклического нагружения. Резонансные колебания, вызывающие А. у., возбуждаются: в высокоинтенсивных акустических полях, возникающих, напр., при работе мощного реактивного двигателя (энергия от источника поля — двигателя — к элементам конструкции передается по воздушному промежутку, где уровень звука может достигать 170—180 дб); при жесткой связи возбудителя колебаний (напр., магнитострикционного преобразователя) с элементами конструкции; в аэродинамическом потоке, к-рый сопровождается шумом до- и сверхзвуковых струй, турбулентного пограничного слоя и т. д. Чтобы определить сопротивляемость материала А. у., руководствуются данными о его обычной усталости, зависимости усталостной прочности от частоты нагружения и др. Важное значение имеют также вид акустической нагрузки и ее распределение. Материал, отличающийся высоким уровнем общей прочности, успешно противостоит и акустическим нагрузкам, особенно если он хорошо рассеивает энергию. Поэтому изделия, к-рые подвергаются таким нагрузкам, изготавливают из материала высокой циклической прочности и большой демпфирующей способности. Перспективны в связи с этим композиционные материалы. Св-ва материала относительно А. у. определяют на спец. стендах, где воспроизводятся реальные условия его эксплуатации.

Лит.: Зарембо Л. К., Красильников В. А. Введение в нелинейную акустику. М., 1966; Серенсен С. В., Гарф М. Э., Кузьменко В. А. Динамика машин для испытаний на усталость. М., 1967. В. А. Кузьменко.

АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, предназначенные для снижения энергии звуковых волн (уровня шумов). В СССР (Москва,

Киев, Воскресенск) пром. произ-во А. м. начато в 60-х гг. А. м. отличаются малой (как правило) объемной массой (до 700 кг/м^3), необходимыми для эксплуатации звукоизоляционными и звукопоглощающими св-вами, напр. достаточным *акустическим сопротивлением*. Большую часть А. м. изготовляют на основе минер. сырья (гл. обр. минеральной ваты, стеклянной ваты, ячеистого бетона, крупнопористого бетона, каменных природных материалов) в виде плит, матов, рулонов, одно- и многослойных конструкций. Классифицируют по виду исходного сырья, упругопластическим свойствам, структуре, конструктивным особенностям, а также по назначению (см. *Звукоизоляционные материалы* и *Звукопоглощающие материалы*). А. м. применяются в строительстве, судо- и авиастроении, на железнодорожном и автомобильном транспорте.

Лит.: Шмидт Л. М. Производство акустических материалов. М., 1969; Попов Л. Н. Строительные материалы и детали. М., 1973.

Ю. П. Горлов, Б. М. Румянцев.

АКУСТИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, акустический импеданс — величина, представляющая собой отношение комплексных амплитуд акустического (звукового) давления к объемной колебательной скорости частиц среды (материала) под воздействием этого давления. С помощью А. с. описывают закономерности излучения и распространения звуковых волн, в том числе закономерности их отражения и поглощения, что существенно при определении осн. характеристик звукоизоляционных и звукопоглощающих материалов. Кроме акустического Z_a , различают удельное акустическое Z и механическое Z_m сопротивления

$$Z_a = \frac{P}{VS}, \quad Z = \frac{P}{V} \quad \text{и} \quad Z_m = \frac{PS}{V},$$

причем

$$Z_m = ZS = Z_a S^2,$$

где P — комплексная амплитуда акустического давления; V — комп-

лексная амплитуда линейной колебательной скорости частиц среды; S — площадь, для к-рой определяются объемная колебательная скорость частиц. В однородной среде объемная колебательная скорость частиц, определенная для единичной поверхности, перпендикулярной направлению распространения звука, численно совпадает с их линейной колебательной скоростью, и А. с. по величине равно удельному А. с., в связи с чем эти понятия иногда отождествляют. Для описания акустических св-в материалов чаще применяют понятие удельного сопротивления. При распространении плоских звуковых волн в безграничной среде без потерь удельное А. с. — величина действительная, определяется произведением плотности среды (ρ) на скорость распространения в ней звука (c) и наз. волновым сопротивлением (Z_0) (табл.). В пористом материале объемная колебательная скорость частиц, определенная для единичной поверхности, меньше их линейной скорости. Отношение этих скоростей определяется пористостью материала. Кроме волнового сопротивления, А. с. определяется характером поля (кривизной фронта звуковых волн), размерами образца материала и А. с. среды, граничащей с материалом. Если фронт звуковой волны не плоский или размеры образца материала ограничены, А. с. — комплексная величина, к-рую можно представить суммой активной R_a и реактивной X_a составляющих

$$Z_a = R_a + iX_a,$$

Удельное акустическое (волновое) сопротивление материалов

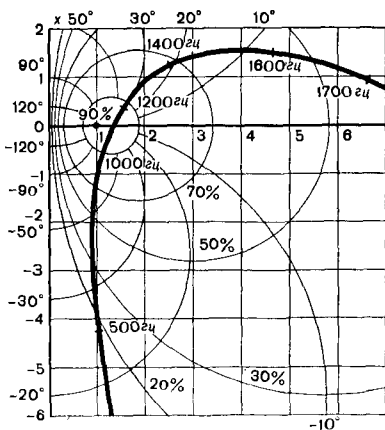
Материал	Z_0 , г/см ² ·сек	Материал	Z_0 , г/см ² ·сек
Вольфрам	$8,32 \cdot 10^8$	Цинк	$2,71 \cdot 10^8$
Никель	$4,24 \cdot 10^8$	Олово	$1,99 \cdot 10^8$
Железо	$4,07 \cdot 10^8$	Флинтглас	$1,53 \cdot 10^8$
Сталь	$3,94 \cdot 10^8$	Алюминий	$1,42 \cdot 10^8$
Константан	$3,82 \cdot 10^8$	Свинец	$1,42 \cdot 10^8$
Медь	$3,20 \cdot 10^8$	Фарфор	$1,29 \cdot 10^8$
Нейзильбер	$3,12 \cdot 10^8$	Гранит	$1,07 \cdot 10^8$
Латунь	$2,92 \cdot 10^8$	Кирпич	$0,65 \cdot 10^8$

где $i = \sqrt{-1}$ — мнимая единица. Величина R_a связана гл. обр. с передачей звуковой энергии, потерями на трение, теплообменом; величина X_a характеризует инерционную или упругую реакцию материала. Обе составляющие в общем случае зависят от частоты колебания частиц среды. С изменением частоты реактивная составляющая может изменяться как по величине, так и по знаку. Зависимость А. с. от частоты колебания частиц среды, изображенная в комплексной плоскости $R_a - X_a$, наз. годографом А. с., или импедансным годографом (рис., жирная кривая). При этом активную и реактивную составляющие часто выражают в нормированных единицах:

$$r = \frac{R_a}{Z_1} \quad \text{и} \quad x = \frac{X_a}{Z_1},$$

где Z_1 — волновое сопротивление среды (преимущественно воздуха), в к-рой существует первичное звуковое поле. Построение годографа А. с. удобно совмещать с построением кругов (кривых) равного поглощения и равных фаз отражения звука (рис., тонкие кривые), что дает возможность легко проследивать частотные зависимости поглощения и отражения звуковых волн. Пусть,

Годограф акустического сопротивления пористой штукатурки, нанесенный на сетку кругов (кривых) равного поглощения и равных фаз отражения звука.



напр., необходимо определить А. с. материала при частоте 1400 гц. Точка, соответствующая этой частоте, находится в верхней части годографа. Для нее по оси абсцисс $R_a = 2,4 Z_1$, по оси ординат — $X_a = 1,3 Z_1$. Суммируя, получаем искомую величину. Одновременно определяем, что реакция материала инерционная, так как реактивная составляющая положительна (если она отрицательна, реакция упругая). Коэффициент поглощения звука равен $\sim 73\%$ (точка частоты 1400 гц лежит недалеко от круга равного поглощения, соответствующего 70%), фазовый сдвиг при отражении звука составляет приблизительно 20° (точка частоты 1400 гц находится вблизи кривой, соответствующей 20°). Для определения А. с. материалов чаще всего применяют способы, основанные на измерении распределения акустического давления в трубе, закрытой с одной стороны образцом испытываемого материала. При изучении пористых и некоторых др. материалов иногда применяют понятие «акустическое сопротивление потерь», к-рым оценивается сопротивление материала продуванию воздуха, обусловленное трением в каналах. Это сопротивление определяется отношением градиента давления к линейной скорости потока воздуха.

Лит.: Дрейзен И. Г. Электроакустика и звуковое вещание. М., 1961; Беранек Л. Акустические измерения. Пер. с англ. М., 1952.

М. И. Карновский, Б. И. Шочкий.

АЛИТ (от лат. а — название первой буквы алфавита и греч. λίθος — камень), $\text{Ca}_3[\text{O}(\text{SiO}_4)]$ — искусственное соединение, главная составная часть портландцементного клинкера. По составу близок к трехкальциевому силикату (см. Силикаты). Содержит в твердом растворе небольшое количество окислов магния и алюминия, иногда — хрома, марганца и железа. Хим. состав (%): CaO — 73,29; SiO_2 — 23,27; Al_2O_3 — 2,47; MgO — 0,97. Структура островная, сингония моноклинная (псевдотригональная), вид симметрии диэдрический безосный. Кристаллы прозрачные, бесцветные, иногда блед-

но-зеленые (из-за примеси окиси хрома), в разрезах — шестиугольной, прямоугольной или неправильной формы. Нередко А. обнаруживает зональность, отчетливо видимую в отраженном свете в полированных шлифах (травители: 10%-ный водный раствор КОН — 15 сек; 5%-ный раствор CH_3COOH — 45 мин; 1—5%-ный спиртовой раствор HNO_3 ; 5%-ный водный раствор NH_4Cl и др.). Спайность (см. *Спайность минералов*) несовершенная по (001). Плотность 3,22—3,25 г/см³. Твердость 5—6. Блеск (см. *Блеск минералов*) стекланный. Показатели преломления: $n_g = 1,732 \pm 0,002$; $n_p = 1,717 \pm 0,002$; двупреломление низкое, $2V = 0 \div \div 10^\circ$, оптический знак (—). Образуется А. в портландцементном клинкере при обжиге до спекания цементной шихты реакцией между окисью кальция и двухкальциевым силикатом в твердом состоянии при т-ре 1450° С. Из чистых окислов его получают твердофазовой реакцией в интервале т-р 1250—1900° С, из расплава может быть получен только при наличии третьего компонента (напр., в системах $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, $\text{CaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{CaF}_2$). Придает портландцементу вяжущие св-ва. При значительном содержании А. в клинкере цемент отличается быстрым твердением и высокой мех. прочностью.

Лит.: Белянкин Д. С., Иванов Б. В., Лалин В. В. Петрография технического камня. М., 1952; Торопов Н. А. Химия цемента. М., 1956; Бутт Ю. М., [и др.] Технология вяжущих веществ. М., 1963; Инсли Г., Фрешетт В. Д. Микроскопия керамики, цемента, стекла, шлаков и формовочных песков. Пер. с англ. М., 1960.

Е. С. Луговская.

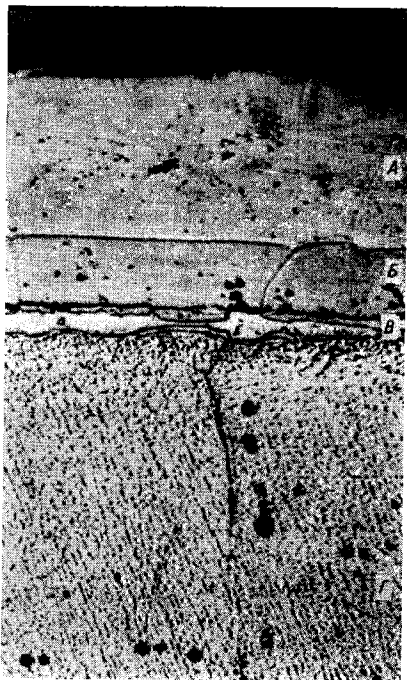
АЛИТИРОВАНИЕ (нем. alitieren — алитировать, от Al — алюминий) — насыщение поверхности металлических изделий алюминием; разновидность *алюминирования*. К А. прибегают, чтобы защитить от окисления изделия, эксплуатируемые в окислительных средах при повышенной т-ре (до 1100° С), а также полуфабрикаты изделий в процессе их термической обработки, штампования или прокатки. Стойкость против

окисления алитированных изделий объясняется защитным действием слоя окислов алюминия, образующихся на алитированной поверхности. А. повышает износостойкость изделий при т-ре 600—800° С, уменьшает схватываемость резьбовых соединений при эксплуатации в вакууме, увеличивает коррозионную стойкость изделий в азотсодержащих средах, защищает изделия от науглероживания при нагреве в восстановительных углеродсодержащих средах.

А. подвергают чаще всего изделия из низкоуглеродистой стали (см. *Углеродистая сталь*), реже — из среднеуглеродистой стали, чугуна, жаропрочной стали, жаропрочных сплавов на никелевой или кобальтовой основе. Исследуется А. изделий из тугоплавких металлов и сплавов. Наиболее распространены А. в порошкообразных смесях (калоризация), шликерное (с помощью шликера — алюминиевой краски), жидкостное и вакуумное. Перед А. поверхность изделий очищают от окислы, ржавчины, обезжиривают, промывают и сушат. При А. в порошкообразных смесях изделия упаковывают в жаростойкие муфели (контейнеры) с алитирющей смесью, состоящей из алюминия (2—49%) или ферроалюминия (49—98%); порошка окиси алюминия или шмота, предотвращающего сплавление частиц алюминия и спекание ферроалюминия; галогенида, чаще всего хлористого аммония (0,5—2%), обеспечивающего образование хлоридов алюминия. Муфели, закрытые песчаными затворами или обмазкой, загружают в электр. или газовые печи при т-ре 450—600° С, при этом хлористый аммоний разлагается на водород, азот и хлористый водород. При дальнейшем повышении т-ры хлористый водород вступает в реакцию с алюминием (или ферроалюминием), а образовавшиеся при этом хлориды алюминия взаимодействуют с поверхностью изделия, на которой возникают слои интерметаллических соединений с высоким содержанием алюминия. При А., напр., изделий из никеля алитированный слой состоит из слоев интерметаллических соединений NiAl и Ni₃Al (рис.);

под слоем Ni_3Al (на границе с осн. материалом) находится тонкий слой (1—2 мкм) *твердого раствора* алюминия в никеле. По окончании А. муфели охлаждают с печью до т-ры $600^\circ C$, а затем на воздухе до комнатной т-ры. Толщину (обычно от 0,02 до 1,5 мкм) и качество алитированного слоя контролируют по микрошлифу, изготовленному из образца-свидетеля. А. изделий из сталей и жаропрочных сплавов на никелевой и кобальтовой основе осуществляют при т-ре $700—1100^\circ C$, из тугоплавких металлов и сплавов, — $900—1300^\circ C$, из сплавов на основе меди — при т-ре $670—800^\circ C$. Продолжительность обработки (в зависимости от т-ры и состава алитирующей смеси) — от 2 до 16 ч. А. нагруженных изделий из жаропрочных сплавов целесообразно совмещать с режимом их термической обработки. Способ А. в порошкообраз-

Микроструктура алитированного слоя никеля (т-ра $950^\circ C$, выдержка 25 ч): А — $NiAl$ ($\sim 32—36\% Al$, $H_{20} \sim 800$ кгс/мм²); Б — $NiAl$ ($\sim 22—28\% Al$, $H_{20} \sim 520$ кгс/мм²); В — Ni_3Al ($\sim 14\% Al$, $H_{20} \sim 400$ кгс/мм²); Г — никель, $\times 300$.



ных смесях несложен, технологичен, обеспечивает получение равномерного по толщине и однородного по структуре покрытия на всей поверхности изделия, необходимую чистоту поверхности. Недостаток его — сложность нанесения частичного покрытия на заданных местах поверхности изделия. Используется при обработке лопаток и сопловых аппаратов турбин, камер сгорания и др. При шликерном А. на очищенную поверхность изделия наносят (погружением, пульверизацией, намазыванием) алюминиевую краску — суспензию тонкодисперсного порошка алюминия (или смеси порошков алюминия с кремнием, хромом, бором, танталом, ниобием) с органическим связующим материалом, после чего изделие просушивают (при т-ре $100—200^\circ C$), а затем подвергают высокотемпературному *отжигу* (при т-ре $800—1100^\circ C$ на воздухе, в аргоне или в вакууме). При отжиге расплавленные компоненты краски реагируют с металлом поверхности, образуя на ней интерметаллические соединения. Способ шликерного А. несложен, отличается значительной производительностью, дает возможность наносить покрытие на отдельных местах изделия, получать покрытия, легированные металлами. Недостатки его — трудность контроля толщины покрытия и получения слоя равномерной толщины, недостаточная воспроизводимость св-в при одних и тех же условиях. С помощью шликерного А. создают покрытия на изделиях с большой поверхностью или сложной конфигурацией (напр., на лопатках турбин), а также местные покрытия. Жидкостное А. осуществляют в расплавленном алюминии или его сплавах (с железом, никелем, магнием, кремнием) при т-ре $670—850^\circ C$ и выдержке 2—15 мин, в течение к-рой поверхностный слой изделия частично растворяется в алюминии и, наоборот, алюминий диффундирует в изделие, образуя интерметаллические соединения. Для получения более равномерного по толщине алитированного слоя и уменьшения налипания загрязнений

на поверхность изделия в расплаве наводят слой *флюса*. Хрупкость алитированного слоя уменьшают диффузионным отжигом изделий при t -ре 900—1000° С. Жидкостным А. получают покрытия гл. обр. на изделиях из стали и никелевых сплавов. Его преимущества — кратковременность, несложность и экономичность, недостатки — необходимость тщательной подготовки поверхности изделий (пескоструйной обработкой, иногда предварительным отжигом), трудность получения равномерного по толщине покрытия, перенасыщение поверхностного слоя изделия алюминием. Жидкостное А. используют гл. обр. для обработки труб, теплопар, автомобильных клапанов, поддонов разливочных ковшей. В вакуумное А., осуществляемое в вакуумных печах со степенью разрежения 10^{-2} — 10^{-5} мм рт. ст., основано на способности твердых тел к испарению. При вакуумном А. изделия помещают в смесь (контактный способ) или размещают над смесью (неконтактный способ), состоящей из порошков окиси алюминия или из порошков сплавов алюминия с хромом либо титаном. В печи изделия нагревают до t -р насыщения пара (~ 950 — 1200° С) и выдерживают 2—8 ч; в течение этого времени алюминий испаряется и его атомы осаждаются на изделиях, образуя хим. соединения или твердые растворы в поверхностном слое. Разновидность контактного способа — диффузионное хромоалитирование в смеси порошков алюминия, хрома и окиси алюминия при t -ре 1050— 1200° С; разновидность неконтактного способа — хромоалитирование с насыщением из сублимированной фазы. Преимущества вакуумного А. — возможность получения покрытий высокой степени чистоты, а также возможность видоизменять состав покрытия, используя для насыщения смеси алюминия с др. металлами; недостатки — необходимость применения спец. оборудования, вероятность разупрочнения материала изделия (вследствие замедленного охлаждения с высоких t -р). Вакуумное А. используют при обработ-

ке лопаток турбин, как технологическую защиту проката. Различают также А. газозное (в ретортах с изделиями и алитирующей смесью) и электролизное (в ваннах с изделиями и солевым расплавом), не нашедшие применения в промышленности.

Лит.: Городнов П. Т. Повышение жаростойкости стальных изделий методом алитирования. М., 1962; Миневич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М., 1965; Андреева А. Г. [и др.]. Структура и состав алитированного слоя на никеле и его сплавах. «Металловедение и термическая обработка металлов», 1967, № 3; Левченко Т. В., Мороз В. И., Буянова Л. П. Высокопроизводительный метод алитирования никелевых сплавов. В кн.: Защитные покрытия на металлах, в. 4. К., 1971; Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. М., 1973. В. В. Терехова, Ю. Ю. Черкис.

АЛМАЗ (тур. elmas, от греч. *ἀδμας* — непреклонный, твердый). С — минерал класса самородных неметаллов, одна из полиморфных модификаций углерода. Кроме А., известны еще след. кристаллические модификации углерода: *графит*, *клифтонит*, *лонсдэлит* и *чаосит*. Разности А.: *баллас*, представляющий собой мелкие шаровидные агрегаты радиально-лучистого строения, бесцветные или серые и черные от микроскопических темных включений; *борт* — сростки мелких черных зерен, сростки прозрачных мелких кристаллов, образующихся вокруг черного мелкозернистого алмазного материала, сростки полупрозрачных, окрашенных кристаллов, сильно трещиноватых и переполненных мельчайшими включениями; *карбонадо* — скрытокристаллические непрозрачные образования, имеющие вид угловатых обломков, пористые шлакоподобные и плотные, кремнеподобные с эмалевидной поверхностью, темно-серые, зеленовато-серые, розоватые, коричневые, темно-коричневые. Отдельные разности образуют А. астроблемные и метеоритные. Астрооблемные (импактные) А. — мелкие скрытокристаллические текстурированные агрегаты, часто содержащие наряду с кубической незначительную часть гексагональной фазы — лонсдэлит. Форма зерен неправильная, часто уплощенная. Окраска желтоватая, реже черная, зеленая, коричневая и серая. Ме-

герритные А. — черные скрытокристаллические образования, содержащие до 30% лонсдэлевита. А. состоит почти из чистого углерода (96,00—99,98%). Содержание золы (в остатке после сжигания) изменяется от 0,02—0,05% — для бесцветных прозрачных кристаллов до 1,00—19,30% — для окрашенных поликристаллических образований. Основные составные части золы: SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Al_2O_3 . В качестве примесей в А. установлено 25 элементов: азот, водород, бор, натрий, магний, алюминий и др. Главная из них — азот (до 0,25%). Именно он оказывает осн. влияние на физические свойства минерала. Структура А. координационная, сингония кубическая, вид симметрии гексоктаэдрический. Образует отдельные кристаллы, их сростки и различные агрегаты, состоящие из кристаллов, яснозернистых и скрытокристаллических образований. Обычными формами, обуславливающими внешний вид кристаллов, являются октаэдр {111}, ромбододекаэдр {110}, куб {100}, а также их комбинации (см. вклейку между сс. 48 и 49). В зависимости от степени развития формы различают октаэдрические, ромбододекаэдрические, кубические и комбинационные ({111} + {110} + {100}, {111} + {110}, {100} + {110} и {100} + {111}) кристаллы. По характеру граней выделяют кристаллы плоскогранные, кривогранные и плоскогранно-кривогранные. Среди кривогранных — додекаэдровиды, октаэдровиды, кубовиды, тетрагексаэдровиды и тригон-триоктаэдровиды. В отличие от природного, на кристаллах синтетического А. развиты плоские грани октаэдра, куба, ромбододекаэдра, реже тригон-триоктаэдра {221} и тетрагон-триоктаэдра {311}. Морфология фигур и узоров на поверхности кристаллов чрезвычайно разнообразна: трех-, четырех- и шестиугольные впадины, выступы, параллельная, сноповидная и занозистая штриховка, блоки, холмики и т. д. Наблюдаются закономерные и случайные срастания кристаллов. Закономерные срастания представлены двойниками кристаллов по шпинелевому закону и параллельными сростками. Отмечаются двойники срастания и

прорастания, первые характерны для октаэдров, вторые — для кубов. Редки сложные циклические срастания кристаллов по шпинелевому закону (тройники, пятерники, шестерники). В виде сингенетических включений в А. установлены графит, хромшпинелиды, оливин, пироп и др. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по {111}. Плотность 3,00000—3,51554 г/см³. Максимальной плотностью отличаются бесцветные кристаллы, минимальной — карбонадо. А. — самое твердое из всех известных в природе веществ, твердость его 10 (по десятибалльной шкале твердости Мооса). Хрупкий, при резком ударе раскалывается. Окраска разнообразная. Чаще А. бесцветен, известны также кристаллы зеленого, желтого, синего, красного, голубого и черного цвета (см. *Цвет минералов*). Блеск (см. *Блеск минералов*) сильный алмазный, реже маслянистый, шелковисто-атласный, леденцовый. Излом (см. *Излом минералов*) микроступенчатый, раковистый, занозистый. Для А. характерны высокий показатель преломления (2,40—2,46), люминесценция в ультрафиолетовых, катодных и рентгеновских лучах. Для синтетических А. люминесценция в ультрафиолетовых лучах не наблюдается. Почти все кристаллы А. анизотропны (см. *Анизотропия*). Он отличается высокой теплопроводностью, кислотостойкостью, травится в расплавах щелочей кислородных солей и металлов, в некоторых раскаленных газах (кислороде, водороде, окиси углерода, парах воды и др.); сгорает в струе кислорода при т-ре 720° С и на воздухе — при т-ре 850° С. Некоторым А. присущи полупроводниковые св-ва. Модуль Юнга — модуль нормальной упругости А. — 90 000 кгс/мм², модуль объемного сжатия ~ 61 200 кгс/мм². А. диамагнитен, магнитная восприимчивость на единицу массы равна 0,49 · 10⁻⁶ единиц СГСЕ при т-ре 18° С. Удельное электрическое сопротивление обычного А. 10¹⁴—10¹⁶ ом · см, полупроводникового (тип 2в) 25—10⁸ ом · см. Коэфф. теплопроводности А. 0,35 кал/см ×

Хсек · град. В природе встречается в кимберлитах и во включениях глубоководных пород—эклогитов и пироклазовых перидотитов, в различных по возрасту и генезису россыпях, а также в пекоторых каменных (углистых ахондритах) и железных метеоритах, в импактитах. Сиятетический А. получают: при высоких статических давлениях (39—72 тыс. кгс/см²) и т-рах (700—2100° С) из графита и углеродсодержащих веществ в расплавах металлов (никеля, железа, кобальта, платины и др.) и их сплавов; прямым переходом графита без применения металлических растворителей углерода (при статическом давлении выше 144 тыс. кгс/см² и т-ре более 3000° С); при динамических давлениях 310—412 тыс. кгс/см² (напр., создаваемых взрывом) и т-ре выше 1200° С; гидролизом растворов, состоящих из гидроуглеродистых *галоидов* и щелочных металлов при атм. давлении и комнатной т-ре; эпитаксиальным (см. *Эпитакия*) наращиванием алмазных пленок при низком давлении или в небольшом вакууме в процессе термической диссоциации углеродсодержащих веществ. Наибольшее практическое значение А. имеет как технический камень. Технические А. составляют 75—85% мировой добычи. Их используют в качестве материалов буровой техники, при изготовлении различных инструментов, как *абразивный материал*. На технические цели идут мелкие А., а также борты, балласты и карбонадо. А. применяют в ювелирном деле как драгоценный камень первого класса. К ювелирным относятся камни наиболее высокого качества, совершенной формы, исключительной прозрачности, красивой и равномерной окраски, без трещин и включений. Ювелирные А. подда-

ются огранке, ограниченные А. наз. бриллиантами. См. также *Сверхтвердые материалы*.

Лит.: Ферсман А. Е. Кристаллография алмаза. М., 1955; Гомон Г. О. Алмазы. М.—Л., 1966; Вдовкин Г. П. Алмазы в метеоритах. М., 1970; Орлов Ю. Л. Минералогия алмаза. М., 1973; Юрк Ю. Ю. [и др.]. Алмазы песчаных отложений Украины. К., 1973. — В. Н. Квасница, Е. К. Лазаренко.

АЛЬНИ [от *ал(юминий)* и *ни(кель)*)] — магнитно-твердые сплавы на основе системы железо — никель — алюминий. Первые сплавы такого типа созданы в начале 30-х гг. 20 в. в Японии. Наибольшее применение находят сплавы, содержащие (кроме железа) 20—34% Ni и 11—18% Al. Высокие магнитные св-ва сплавов А. (остаточная магнитная индукция, *коэрцитивная сила*, магнитная энергия) обусловлены распадом высокотемпературного *твердого раствора* на две когерентно связанные объемноцентрированные кубические фазы (см. *Дисперсионное твердение*). Одна из фаз близка к альфа-железу и в виде мелких частиц находится в другой (немагнитной) матричной фазе, богатой никелем и алюминием. Высокая коэрцитивная сила обеспечивается однодоменностью (см. *Доменная структура*) и анизотропией формы частиц (см. *Магнитная анизотропия*), длинные оси к-рых параллельны трем кубическим осям матричной фазы. Сплавы А. отличаются *изотропией* свойств, они устойчивы против структурного и магн. старения, хрупки, тверды, склонны к растрескиванию и выкрашиванию, поддаются шлифованию и специальному (напр., электрохимическому) резанию. Их предел прочности на растяжение 3—8 кгс/мм², на изгиб 10—15 кгс/мм², *ударная вязкость* 0,2—0,25 кгс · м/см², *твердость* 45—55 HRC. Заготовки изделий из сплавов А. получают фасонным литьем (табл. 1, 2, рис.), спеканием и горячей прокаткой. Для улучшения технологичности в

Таблица 1. Химический состав литых сплавов альни

Марка сплава	Содержание элементов, %				
	Ni	Al	Cu	Ti	Fe
ЮНД4	24,0—25,0	13,0—14,0	3,0—4,0	0,2—0,3	Остальное
ЮНД8	28,0—28,4	10,8—11,3	7,8—8,2	—	

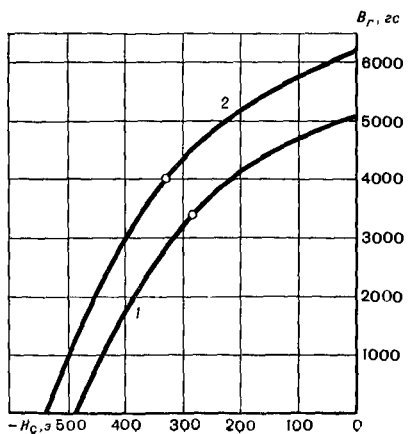
спеченные (металлокерамические) сплавы (марки ММК с цифрой, обозначающей номер сплава) и в горячекатаный сплав марки 25НЮ вводят добавки соответственно циркония и ниобия. Никель, алюминий.

Таблица 2. Свойства и термическая обработка литых сплавов альни

Марка сплава	B_r , гс	H_c , а	$(BH)_{\max} \cdot 10^6$, гс·а	Термическая обработка
ЮНД4	5000	500	0,9	Охлаждение от т-ры 1250° С со скоростью 180—300° С в минуту
ЮНД8	6000	550	1,3	Охлаждение от т-ры 1270° С в масле, отпуск при т-ре 600° С в течение 2 ч

медь, титан, цирконий и ниобий увеличивают коэрцитивную силу и уменьшают остаточную магнитную индукцию. Никель и алюминий увеличивают также макс. магнитную энергию. Никель повышает, а алюминий понижает т-ру нагрева под закалку и критическую скорость

Кривые размагничивания литых сплавов альни: 1 — сплав марки ЮНД4; 2 — сплав марки ЮНД8. Точки на кривых соответствуют $(BH)_{\max}$.



охлаждения. Медь снижает зависимость св-в от небольших нарушений технологии. Вредным элементом является углерод (его содержание не должно превышать 0,03%). Небольшим изменением хим. состава и режима термической обработки можно увеличить остаточную магнитную индукцию сплавов до 7000—8000 гс при коэрцитивной силе 150—260 а. Введение кремния (1—1,5%) в сплавы с 32—35% Ni и 13—16% Al дает возможность получить значение коэрцитивной силы более 700 а при остаточной магнитной индукции около 4000—4500 гс (см. *Альнисис*). У спеченных изделий остаточная магнитная индукция и макс. магнитная энергия на 10—20% меньше (из-за меньшей плотности материала), чем у литых и горячекатаных. Из сплавов А. изготавливают постоянные магниты (в виде дисков, стержней, колец и др.) для электроизмерительных и электронных приборов, реле, различных автоматических систем, двигателей и генераторов. Фасонным литьем, используя песчаные и скорлупчатые формы или выплавляемые модели, получают заготовки магнитов массой 0,1—5 кг. Спеканием создают магниты массой от долей грамма до 100 г (спрессованную под давлением около 10 тс/см² заготовку спекают в вакууме или в среде водорода при т-ре 1200—1300° С). Горячей прокаткой получают листы толщиной 1,5—10 мм, магниты из них изготавливают горячим штампованием (т-ра нагрева 1000—1100° С) или резанием. Спекание и прокатку используют для получения малогабаритных магнитов. Марки сплавов А., технические требования к ним включены в ГОСТы 13596—68 (спеченные сплавы), 17809—72 (литые сплавы), ТУ 14—1—157—72 (горячекатаные сплавы) и др. нормативные документы. См. также *Альнико*, *Магнито*, *Магнитно-твердые материалы*.

Лит.: Довгалевский Я. М. Сплавы для постоянных магнитов. М., 1954; Лившиц Б. Г., Львов В. С. Высококоэрцитивные сплавы на железоникельалюминиевой основе. М., 1960; Материалы в приборостроении и автоматике. Справочник. М., 1969; Постоянные магниты. Справочник. М., 1971; Довгалев

ский Я. М. Легирование и термическая обработка магнитотвердых сплавов. М., 1974; Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Бозорт Р. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956.

Н. Н. Потапов.

АЛЬНИКО {от *ал*(юминий), *ни*(кель) и *ко*(бальт)} — магнитотвердые сплавы на основе системы железо — кобальт — никель — алюминий. По физ. природе, мех. св-вам, влиянию на св-ва входящих в их состав хим. элементов, методам изготовления изделий, способам мех. обработки и областям применения аналогичны сплавам *альни*, однако отличаются лучшими магн. св-вами. Наибольшее применение находят анизотропные сплавы А. (см. *Анизотропия*) с магн. или одновременно с кристаллической и магн. текстурами (см. *Текстура металла*). Магнитную текстуру создают охлаждением или изотермической выдержкой в магн. поле (см. *Термомагнитная обработка металлов*), если Кюри точка сплавов превышает t -ру распада. Магн. поле способствует ориентированному выделению частиц сильномагнитной железокобальтовой фазы длинной осью вдоль тех кубических осей никельалюминиевой матричной фазы, к-рые близки к направлению приложенного магн. поля. Кристаллическую текстуру создают направленной *кристаллизацией*, обеспечивающей *столбчатую структуру* зерен (этому способствует наличие серы). Наивысших магн. св-в достигают на *монокристаллах* (табл. 1, 2, рис.). Различают сплавы А. с содержанием кобальта до 15%, от 16 до 27 и от

28 до 45%. Горячекатаные листы и прутки получают из сплавов с 16—27% Со. Для всех сплавов применяют охлаждение с критической скоростью и, как правило, ступенчатый *отпуск*. Сплавы с 16—27% Со, отличающиеся высокой остаточной магн. индукцией, охлаждают в магн. поле. Сплавы с 28—45% Со, для которых характерны высокая *коэрцитивная сила* или большое значение макс. магн. энергии, подвергают перед отпуском изотермической выдержке в магн. поле. Для сплавов с 12—15% Со влияние термомагнитной обработки недостаточно эффективно, а при меньшем содержании кобальта св-ва, близкие к св-вам сплавов альни, получают без отпуска. Критическая скорость охлаждения значительно уменьшается в сплавах с высоким содержанием кобальта, что позволяет получать из сплавов А. постоянные магниты крупных сечений. После термической обработки сплавы А. отличаются высокой температурной и временной стабильностью магн. свойств. Легируют эти сплавы гл. обр. кремнием, титаном, ниобием и редкоземельными элементами. Для получения сплавов с большой магн. энергией используют вакуумные металлургические процессы. По объему производства и областям применения сплавы А. занимают ведущее положение среди материалов для постоянных магнитов. Наибольшее применение получили, напр., сплавы с 23,5—26% Со (наз. также *магнико*) и сплавы с 35,0—42,0% Со и 3—9% Ti (наз. также *тикональ*). Большей магн. энергией, чем сплавы А., обладают сплавы кобальта с редкоземельными элементами. Марки сплавов А., техниче-

Таблица 1. Химический состав литых сплавов альнико

Марка сплава	Содержание элементов, %						
	Со	Ni	Al	Cu	Ti	Nb	Fe
ЮНДК15	14,0—15,0	19,0—20,0	8,5—9,5	3,0—4,0	0,2—0,3	—	Остальное
ЮН14ДК24	23,5—24,5	13,5—14,5	7,5—8,5	2,5—3,5	—	—	» »
ЮН14ДК25БА	24,0—26,0	13,5—14,5	8,0—8,5	3,5—4,0	0,2—0,3	0,8—1,0	» »
ЮНДК35Т5БА	34,5—35,5	14,0—14,5	6,8—7,2	3,3—3,7	4,0—5,0	0,9—1,1	» »
ЮНДК40Т8АА	39,0—40,0	14,0—14,5	7,2—7,7	3,0—4,0	7,0—8,0	—	» »

Примечание: А — столбчатая кристаллическая структура; АА — монокристаллическая структура.

ккие требования к ним включены в те же ГОСТы, что и для сплавов альни. и, кроме того, регламентируются ЧМТУ ЦНИИЧМ 1499—70 (дефор-

Таблица 2. Свойства литых сплавов альнико

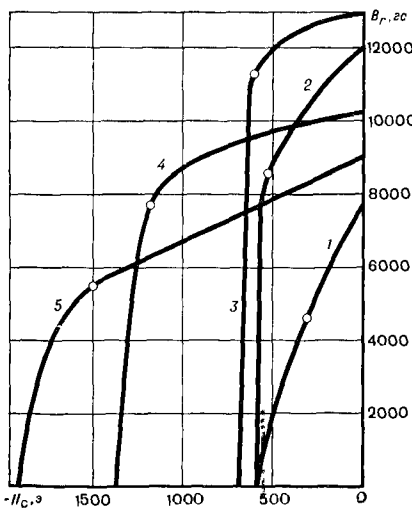
Марка сплава	B_r , гс	H_c , э	$(BH)_{\text{макс}} \cdot 10^6$, гс · э
ЮНДК15	7500	600	1,5
ЮН14ДК24	12 000	600	4,5
ЮН14ДК25БА	13 000	725	7,0
ЮНДК35Т5БА	10 200	1380	9,0
ЮНДК40Т8АА	9000	1800	8,0

Примечание: Сплав марки ЮНДК15 — изотропный, остальные — анизотропные (св-ва вдоль оси текстуры).

мированный сплав марки ЮНДК24) и другими техническими условиями. См. также *Магнитно-твердые материалы*.

Лит. см. к ст. Альни. Н. Н. Потанов.

Кривые размагничивания литых сплавов альнико: 1 — сплав марки ЮНДК15; 2 — сплав марки ЮН14ДК24; 3 — сплав марки ЮН14ДК25БА; 4 — сплав марки ЮНДК35Т5БА; 5 — сплав марки ЮНДК40Т8АА. Точки на кривых соответствуют $(BH)_{\text{макс}}$.



АЛЬНИСИ [от *ал*(юминий), *ни*(кель) и лат. *si*(licium) — кремний] — магнитно-твердые сплавы на основе системы железо — никель — алюминий — кремний. Разработаны в СССР в 40-х гг. По физ. и мех. св-вам близки к сплавам альни. Наиболее широко применяют сплав марки ЮНТС (13—16% Al; 32—35% Ni; 1,0—1,5% Si; 0,4—0,5% Ti; остальное — железо). Кремний почти целиком входит в состав образующихся при *дисперсионном твердении* выделений ферромагнитной фазы, уменьшая их размеры и изменяя кинетику превращений сплава при оптимальной термообработке. Это приводит к некоторому снижению остаточной индукции и макс. магн. энергии сплава при сохранении высоких значений *коэрцитивной силы* по сравнению со сплавом приведенного состава, но без кремния и титана. Однако благодаря кремнию значительно снижается критическая скорость охлаждения и увеличивается *прокаливаемость* сплава, что позволяет получать из него после охлаждения в струе воздуха от $t_{\text{ры}}$ 1200°С массивные литые пост. магниты без трещин (сечением до 30 см²). Титан оказывает такое же влияние, как и кремний. Коэрцитивная сила сплава марки ЮНТС — 720 э, остаточная индукция — 4300 гс, макс. магн. энергия — $1 \cdot 10^6$ гс · э. Хим. состав и св-ва А. регламентируются ГОСТом 17809—72. См. также *Магнитно-твердые материалы*.

Лит.: Лившиц Б. Г., Львов В. С. Высококоэрцитивные сплавы на железоникельалюминиевой основе. М., 1960; Довгалевский Я. М. Легирование и термическая обработка магнитотвердых сплавов. М., 1971. Н. Н. Потанов.

АЛЬСИФЕР [от *ал*(юминий), лат. *si*(licium) — кремний и *fer*(rum) — железо] — сплав на основе системы алюминий — кремний — железо. Впервые создан в середине 30-х гг. 20 в. в Японии. Отечественный аналог — сплав марки 10СЮ (табл. 1, 2). А. — недеформируемый сплав с объемноцентрированной кубической решеткой, отличающийся специфическим сочетанием магн., мех. и электр. свойств: высокой магнитной проницаемостью, твер-

достью, прочностью, износостойкостью, значительным электрическим сопротивлением. Высокие магн. св-ва сплава обусловлены близкими к нулю значениями естественной кристаллографической анизотропии и магнитострикции (изменения формы или размеров тела при намагничивании и размагничивании). Сплав склонен к образованию упорядоченной атомной структуры при медленном охлаждении с т-р $\geq 650^\circ\text{C}$; характеризуется, в отличие от альфенола, высокой магн. мягкостью (альфенол обладает перемангничиванием в слабых магн. полях). А. выплавляют в вакуумных индукционных печах при остаточном давлении 10^{-3} — 10^{-4} мм рт. ст. с использованием шихтовых материалов высокой чистоты. Разливают металл в кокили в среде нейтрального газа. Во избежание термических напряжений и растрескивания слитков сплавы медленно охлаждают с т-ры 700—800° С. Из-за чрезвычайной хрупкости А. можно подвергать только шлифованию и электроискровому резанию. Сплав паяют. Рекомендуемая термическая обработка: вакуум

с остаточным давлением не более 10^{-3} мм рт. ст., нагрев до т-ры 900—1100° С (со скоростью 100—200° С в час), выдержка 1—2 ч, охлаждение до т-ры 200° С со скоростью 50° С в час, а с т-ры 200° С — со скоростью не более 400° С в час. А. производят в виде литых термически обработанных заготовок (сугунок), из к-рых изготавливают магнитопроводы магн. головок аппаратуры цветной видеозаписи. А. легко измельчается в тонкий порошок, что позволяет использовать его в произ-ве некоторых магнитодиэлектрических материалов. На А. разработаны ТУ—14—222—24—73. См. также *Магнитно-мягкие материалы*. Лит.: Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Бозорт Р. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956; Хек К. Магнитные материалы и их техническое применение. Пер. с нем. М., 1973.

В. В. Соснин.

АЛЬФА-ФАЗА (от греч. *άλφα* — название первой буквы алфавита) — 1) В х и м. э л е м е н т а х — фаза, представляющая собой преим. самую низкотемпературную полиморфную модификацию. Обозначение А.-ф. ввел франц. металлург Ф. Осмонд в 1885. В элементах мономорфных (напр., меди, серебре, золоте, алюминии), у к-рых тип кристаллической решетки не изменяется от т-ры 0 К до т-ры плавления, А.-ф. образуется при кристаллизации расплава. В элементах полиморфных (за исключением железа), у к-рых тип кристаллической решетки изменяется с изменением т-ры, А.-ф. возникает во время охлаждения из *бета-фазы*, напр. в марганце — при т-ре 727° С. В железе А.-ф. образуется в процессе охлаждения из *гамма-фазы* при температуре 910° С.

Т а б л и ц а 1. Химический состав альсифера

Марка сплава	Содержание элементов, %			
	Al	Si	Ce	Fe
10СЮ	5,2—5,6	9,4—9,8	0,005—0,08	Остальное

П р и м е ч а н и е: Допускается замена церию иттрием или мишметаллом в равном количестве.

Т а б л и ц а 2. Свойства альсифера

Марка сплава	μ , гс/э		H_c , э	D , г/см ³	ρ , ом·мм ² /м	Точка Кюри, °С	HV	Износостойкость по сравнению с износостойкостью сплава альфенол марки 16ЮХ, %
	начальная	максимальная						
10СЮ	15 000—20 000	50 000—70 000	0,005—0,04	7,0	0,7	500	450—500	125

П р и м е ч а н и я: 1. Магн. свойства — в пост. магн. поле. 2. Физ. свойства — термически обработанного сплава.

термообработки) с т-ры 650° С до комнатной.

А. выплавляют в вакуумных индукционных печах, подвергают ковке и горячей прокатке. Полосы конечной толщины получают тепловой прокаткой. Сплав хорошо штампуется. Рекомендуемая окончательная термическая обработка в открытых це-

(сплав марки 16ЮХ) и ЧМТУ 1—46—67 (сплав марки 16ЮИХ). См. также Магнитно-мягкие материалы.

Лит. см. к ст. Альсифер. В. В. Соснин. АЛЬФЕР [от ал(юминий) и лат. fer(rum) — железо] — магнитно-мягкий сплав железа с алюминием. Впервые применен в 40-х гг. 20 в. в Японии. Изготавливают А. марок 8Ю (7,5—8,5% Al) и 14Ю (11,8—13,8% Al). Сплавы этих марок характери-

Таблица 1. Химический состав альфенолов

Марка сплава	Содержание элементов, %						
	Al	C	Si	Mn	Cr	Re	Fe
16ЮХ	15,8—16,4	0,02	0,4	0,1	1,7—2,5	—	Остальное
16ЮИХ	15,7—16,1	0,02	0,2	0,1	1,7—2,1	2,1—2,5	»

Таблица 2. Свойства альфенолов

Марка сплава	μ , гс/э		H_c , э	D , г/см ³	ρ , ом·мм ² /м	Точка Кюри, °С	HV	σ_B , кгс/мм ²	E , кгс/мм ²	δ , %
	начальная	максимальная								
16ЮХ	(8—10) 10 ³	(5—6) 10 ³	0,025—0,035	6,7	1,5	300	250	54	16 200	5
16ЮИХ	(10—12) 10 ³	(6—7) 10 ³	0,020—0,025	6,9	1,5	260	250	68,5	17 600	7,5

Примечания: 1. Магн. свойства — в пост. магн. поле напряженностью 0,005 э. 2. Толщина листов сплава — 0,1—0,35 мм.

чах: нагрев до т-ры 1000° С со скоростью 200—300° С в час, выдержка около 30 мин, охлаждение до т-ры 650° С со скоростью 50—100° С в час, выдержка при т-ре 650° С в течение 15—30 мин, закалка в масле. А. производят в виде листов толщиной 0,1; 0,2 и 0,35 мм, из к-рых изготавливают преим. сердечники записывающих и воспроизводящих головок аппаратуры магн. записи. На А. разработаны ТУ 14—1—469—73

зуются сочетанием высоких значений магнитострикции, удельного электрического сопротивления и прочности (табл.). Сплав марки 14Ю склонен к образованию упорядоченной атомной структуры при медленном охлаждении в диапазоне т-р 600—300° С, в результате чего магнитострикция возрастает, а удельное электр. сопротивление уменьшается. В сплаве марки 8Ю упорядоченная атомная структура не обра-

Свойства альферов

Марка сплава	D , г/см ³	$t_{пл}$, °С	ρ , ом·мм ² /м	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	HV	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	$\lambda_s \cdot 10^{-6}$	μ , гс/э		H_c , э	B_s , кгс
									начальная	максимальная		
8Ю	7,5	1500	0,9	58	15	170	40	60—80	500—700	4000—5000	0,4—0,6	16
14Ю	6,6	1450	1,0	80	1	270	60	30—40	700—1000	6800—8500	0,3—0,4	12

зуется. Сплавы А. поддаются обработке давлением, резке, сварке. Для улучшения магн. св-в изделия из А. подвергают предварительной термообработке, выдерживая в течение 2—5 ч в вакууме или в среде водорода при т-ре 850° С (сплав марки 14Ю) и 1200° С (сплав марки 8Ю). После отжига скорость охлаждения сплава марки 14Ю составляет 50 град/ч, сплава марки 8Ю равна 200 град/ч (до т-ры 600° С), далее — по 50 град/ч. Полуфабрикаты из А. — холоднокатаные ленты толщиной 0,2—0,3 мм. Дальнейшего повышения магнитострикции сплава марки 8Ю (до $80 \cdot 10^{-6}$) достигают созданием благоприятной кристаллографической и магн. текстуры (см. *Текстура металла*) при окончательной термообработке. Сплав марки 14Ю характеризуется повышенной хрупкостью, вследствие чего ленты прокатывают, подогревая полосы до т-ры 500° С. Сплавы А. наряду с никелем и пермендюрмом применяют для изготовления сердечников магнитострикционных преобразователей в ультразвуковой и гидроакустической аппаратуре. Хим. состав и св-ва сплава марки 14Ю регламентированы ВТУ 155—57. См. также *Магнитно-мягкие материалы*.

Лит.: Бородин М. М., Бульчева З. Н., Селицкий Я. П. Исследование текстуры и анизотропии магнитострикции сплавов Fe—Al и Fe—Cr. «Физика металлов и металловедение», 1960, т. 9, в. 3; Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974. З. Н. Бульчева.

АЛЮМЕЛЬ [от *алюм(иний)* и (*ник*)ель] — сплав на основе никеля.

В 30-х гг. 20 в. начал широко применяться для изготовления термопар. Отличается специфическим сочетанием термоэлектрических св-в и жаростойкости, достаточно высокой пластичностью в горячем и холодном состоянии, легко поддается ковке и волочению, магнитен (табл. 1, 2). Для А. характерна почти прямолинейная зависимость термоэдс от т-р в широком интервале их, значительная ее величина: около 8,6 мв относительно платины при т-ре горячего спая 1000° С и т-ре холодного спая 0° С. Стойкость против окисления до т-ры 1000° С и структурная стабильность обуславливают высокое постоянство значений термоэдс при длительной эксплуатации сплава на воздухе в интервале т-р 20—1000° С. С повышением т-ры эксплуатационная надежность сплава снижается.

Из А. изготавливают проволоку, служащую отрицательным термоэлектродом термопары *хромель* — *алюмель*, к-рая широко используется при измерении т-ры в пром. и лабораторных печах. Эту проволоку применяют также в качестве компенсационных проводов. Хим. состав А. регламентируется ГОСТом 492—73, термоэлектрические св-ва проволоки из А. — ГОСТом 1790—63. См. также *Никель сплавы*.

Лит.: Попов М. М. Термометрия и калориметрия. М., 1954; Исследование сплавов для термопар [ч. 1—2]. М., 1964—

Таблица 1. Химический состав алюминия

Марка сплава	Содержание элементов, %						
	Ni	C	Si	Mn	Al	Co	Fe
НМЦАК2-2-1	Основа	≤ 0,10	0,85—1,50	1,80—2,70	1,60—2,40	0,60—1,20	≤ 0,3

Таблица 2. Свойства алюминия

Марка сплава	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$D, \text{г/см}^3$	$\rho, \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$\sigma_B, \text{кгс/мм}^2$		$\delta, \%$		НВ	
				Отожженный	Наклепанный до 80%	Отожженный	Наклепанный до 80%	Отожженный	Наклепанный до 80%
НМЦАК2-2-1	1430—1450	8,5	0,25—0,35	56	110	36	2	130	250—300

67; Смирягин А. П., Смирягин Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974. Л. Л. Жуков.

АЛЮМИНАТЫ — соединения, содержащие окись алюминия в качестве кислотного компонента. Первым А., полученным в 1847 франц. минералогом Л. Эбельменом, была магнезиальная шпинель. Всего синтезировано (1977) более 100 простых и сложных соединений. Как редкие минералы в природе встречаются шпинель, герцинит FeAl_2O_4 , ганит ZnAl_2O_4 , хризоберилл BeAl_2O_4 и галаксит MnAl_2O_4 . Наиболее распространенные типы А.: шпинели — $\text{R}^{2+}\text{Al}_2\text{O}_4$ (где R — магний, цинк, кадмий, марганец, железо, кобальт, никель, медь); А. со структурой типа *перовскита* — $\text{R}^{3+}\text{AlO}_3$ (где R — редкоземельные элементы (от лантана до тербия), иттрий); А. со структурой типа *граната* — $\text{R}_3^{3+}\text{Al}_5\text{O}_{17}$ (где R — редкоземельные элементы (от лантана до тербия), иттрий); полиалюминаты (т. н. бета-глиноземы) гексагональной симметрии, обычно состава $\text{R}_2\text{O} \cdot (5-7)\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{R}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ (где R — литий, натрий, калий, рубидий, цезий, иногда серебро), $\text{RO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ (где R — кальций, стронций, барий), а также $\text{La}_2\text{Al}_{24}\text{O}_{39}$. Известны фазы $3\text{RO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $2\text{RO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{RO} \times \times 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (где R — кальций, стронций, барий), а также $\text{R}_4\text{Al}_2\text{O}_9$ (где R — редкоземельные элементы от европия до иттербия). А. отличаются, как правило, значительной твердостью (~ 8 по Моосу) и высокими t-рами плавления (MgAl_2O_4 — 2105° С, А. редкоземельных элементов — 1900—2100° С, NaAlO_2 — ~ 1600° С, CaAl_2O_4 — 1600° С). Мн. из них плохо проводят электр. ток. Магнезиальная шпинель — химически стойка, в т. ч. и к шлаковому расплаву. Полиалюминаты легко обменивают катионы щелочных элементов. Для А. кальция, кроме гидравлического твердения, характерны некоторые св-ва *цеолитов*. А. активных (щелочных) металлов хорошо растворяются в воде, менее активных — б. ч. труднорастворимы. А. получают спеканием (при t-ре 1400—1800° С)

гонко измельченных смесей окислов (карбонатов, гидроокисей) или соосажденных гидроокисей, а также электроплавкой таких смесей. Магнезиальную шпинель используют в произ-ве огнеупорных материалов (шпинельные изделия, периклазовые изделия со шпинельной связкой). А. кальция — для приготовления *глиноземистого цемента* и *портланд-цемента*, полиалюминаты (обычно кальциевые) — в качестве *абразивных материалов*, А. натрия — в текстильном произ-ве (как протраву), в бумажной пром-сти, для очистки воды, при получении окиси алюминия. Магнезиальная шпинель, ганит, хризоберилл, некоторые А. редкоземельных элементов перспективны в произ-ве электрокерамики и деталей радиоэлектронной аппаратуры.

Лит.: Бережной А. С., Слонимская Е. З. Шпинельные огнеупоры. «Труды Украинского научно-исследовательского института огнеупоров и кислотоупоров», 1939, в. 45; Бережной А. С., Цыпкина В. М. Термостойкие магнезитовые огнеупоры на шпинельной связи. В кн.: Сборник материалов по вопросам огнеупорной промышленности, № 2. М., 1940; Ли Ф. М. Химия цемента и бетона. Пер. с англ. М., 1961; Уоршоу И., Рой Р. Кристаллохимия полуторных окислов, алюминатов и силикатов РЗЭ. В кн.: Успехи в химии и технологии редкоземельных элементов, т. 1. Пер. с англ. М., 1970. А. С. Бережной.

АЛЮМИНИДЫ — соединения алюминия с металлами. Впервые одно из таких соединений (А. ниобия. NbAl_3) обнаружил в 1868 франц. химик Л. Мариньяк. А. отличаются кристаллической структурой, характерной для металлов. При нормальных условиях А. — твердые вещества. Цвет серый, с блеском. Отличаются высокой электро- и теплопроводностью, твердостью и хрупкостью (табл.). А. (за исключением ферромагнитных А. железа) — диамагнетики (см. *Диамагнитные материалы*) и парамагнетики (см. *Парамагнитные материалы*). Некоторые из них обладают высокими прочностными св-вами (напр., NiAl , Ti_3Al). А. типа M_3Al (напр., Nb_3Al) — сверхпроводники (см. *Сверхпроводящие материалы*). А. актиноидов, хрома (CrAl), молибдена (Mo_3Al , MoAl), никеля (NiAl), циркония (ZrAl_2) — перспективные материалы для применения в активной зоне ядерных реакторов.

Наиболее простой и распространенный способ получения А. — сплавление компонентов в дуговой или индукционной печи. А. получают также методами порошковой металлургии, алюмотермическим восстановлением (внепечным и вакуумным) кислородных и галогидных соединений, электролитическим выделением, обработкой *алюминия сплавов* в различных кислотных и щелочных средах.

Свойства алюминидов

Алюми- нид	Содержа- ние алюми- ния, %	Тип кристалличе- ской решетки	$t_{пл}$, °С	ρ (при комнат- ной темпера- туре), мком·см	H , кгс/мм ²	Т-ра пе- рехода в сверх- проводя- щее со- стоя- ние, К
Mo ₃ Al	8,58	Кубическая	2150	46	610	1,3
Nb ₃ Al	8,83	Кубическая	2060	103	822	18,5
Nb ₂ Al	12,68	Тетрагональная	1800	138	680	—
NiAl	31,49	Кубическая	1638	15,1	—	—
TiAl	36,03	Тетрагональная	1460	27	167	—
NbAl ₃	46,40	Тетрагональная	1750	49	636	—
ZrAl ₃	47,01	Тетрагональная	1580	17	427	—
VAI ₃	61,40	Тетрагональная	1380	71	320	—

Алюминиды (особенно А. редкоземельных металлов) применяют в качестве модифицирующих добавок (см. *Модифицирующие материалы*). А. никеля (Ni₃Al, NiAl) до т-ры 1100—1200° С, титана (Ti₃Al, Ti₂Al, TiAl) до т-ры 600—800° С и TiAl до т-ры 1100—1200° С — перспективны как жаропрочные и жаростойкие материалы; А. ниобия (Nb₃Al) — материал для соленоидов с магн. полем до 100 000 гс и более. Никельалюминиевые соединения используют как *катализаторы* реакций органического синтеза. А. урана (UAl₃) применяют в качестве горю-

чего для ядерных реакторов.

Лит.: Вол А. Е. Строение и свойства двойных металлических систем (Справочное руководство), т. 1—3. М., 1959—76; Корнилов И. И. Металлиды и взаимодействия между ними. М., 1964; Синельникова В. С., Подергин В. А., Речкин В. Н. Алюминиды. К., 1965; Химия металлических сплавов. М., 1973; Металлиды — строение, свойства, применение. М., 1971; Шанк Ф. А. Структуры двойных сплавов Пер. с англ. М., 1973.

В. С. Синельникова.

АЛЮМИНИЕВАЯ БРОНЗА — бронза, в к-рой алюминий является осн. легирующим элементом. Разработана в начале 20 в. как заменитель *оловянистой бронзы*. В СССР применяется с 1930. Пром. значение имеют бронзы с содержанием алюминия от 4 до 11% (табл. 1). По числу легирующих элементов различают А. б. двойные (рис.) и многокомпонентные. Введение в А. б. дополнительных легирующих элементов (марганца, никеля и железа) улучшает мех., технологические (см. *Технологичность*) и антифрикционные св-ва сплавов (табл. 2), в частности повы-

Таблица 1 Химический состав алюминиевых бронз

Марка бронзы	Содержание элементов, %				
	Cu	Al	Fe	Mn	Ni
БрА5	Основа	4—6	—	—	—
БрА7	»	6—8	—	—	—
БрАЖ9-4	»	8—10	2—4	—	—
БрАЖН10-4-4	»	9,5—11,0	3,5—5,5	—	3,5—5,5
БрАМц9-2	»	8—10	—	1,5—2,5	—
БрАЖМц10-3-1,5	»	9—11	3—4	1—2	—

пает их прочность, коррозионную стойкость, жаростойкость, т-ру начала рекристаллизации, способствует измельчению зерна. А. б. не склонна к ликвации, отличается

сят к деформируемым. Бронзы с большим содержанием алюминия, хотя они и более прочны, относят к литейным (из-за малой пластичности). Многокомпонентные А. б. по прочностным св-вам и коррозионной стойкости (за исключением стойкости в парах воды) превосходят оловяни-

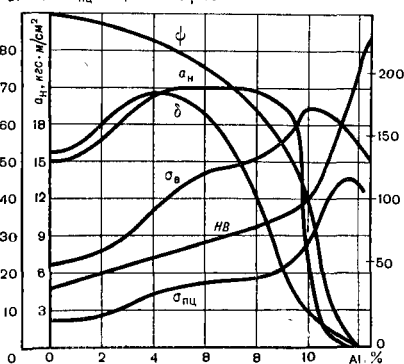
Таблица 2. Свойства алюминиевых бронз

Марка бронзы	$D, \text{ г/см}^3$	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{ кал/см} \times \text{сек} \cdot \text{град}$	$\rho, \text{ ом мм}^2/\text{м}$	$\sigma_B, \text{ кгс/мм}^2$		
					Литая	Мягкая	Твердая
БрА5	8,2	1075	0,25	0,10	27—30	34—40	75—85
БрА7	7,8	1040	0,19	0,11	28—31	40—45	95—105
БрАЖ9-4	7,5	1040	0,14	0,15	50—60	55—65	50—60
БрАЖН10-4-4	8,2	1082	0,12	0,18	60—70	55—65	75—85
БрАМц9-2	7,6	1060	0,17	0,19	35—45	38—43	55—65
БрАЖМц10-3-1,5	7,85	1045	—	0,18	50—60	58—64	60—65

жидкотекучестью, у нее повышенная объемная усадка. А. б. подразделяют на деформируемые бронзы, т. е. сплавы, применяемые для изготовления полуфабрикатов давлением, и литейные бронзы — для отливки деталей. Бронзы, содержащие до 7% Al, пластичны, их отно-

Зависимость механических свойств двойных алюминиевых бронз от содержания алюминия. Исходные образцы отожжены при температуре 650° С.

$\sigma_B, \text{ кгс/мм}^2$ $\sigma_{\text{пл}}, \text{ кгс/мм}^2$ $\delta, \%$ $\phi, \%$ HV



стые бронзы, однако уступают им в способности паяться. Многокомпонентные А. б., содержащие 8—11% Al, при дополнительном легировании становятся более пластичными, их можно обрабатывать в горячем и холодном состоянии.

А. б. очень стойки в атм. условиях, в морской воде, в растворах большинства органических к-т и углекислых растворах. Полуфабрикаты из А. б. в виде прутков, лент, полос и т. п. изготавливают прокаткой, прессованием и ковкой из слитков, отличающихся в металлические изложницы или непрерывным способом. Т-ра горячей обработки А. б. — 750—850° С, смягчающего отжига — 600—750° С. А. б. находят применение при изготовлении деталей в судостроении, электротехнике, хим. аппаратостроении и др. Хим. состав А. б. определяется ГОСТом 18175—72. См. также Бронза.

Лит.: Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974; Справочник машиностроителя, т. 6. М., 1964.

Г. Е. Шпичинецкий, Е. С. Шпичинецкий.

АЛЮМИНИЕВАЯ — латунь, в которой алюминий является основным легирующим элементом. Разработана в начале 1930. В СССР полуфабрикаты из А. л. изготавливают с 1934. Алюминий повышает *коррозионную стойкость* латуни, особенно в морской воде. Дополнительные легирующие элементы (железо,

никель, марганец, кремний или мышьяк) увеличивают прочность и коррозионную стойкость сплава в морской воде, щелочах и разбавленных кислотах. В СССР выпускают А. л. пяти марок (табл. 1, 2).

σ_T , кгс/мм ²			δ , %			НВ			$\alpha \cdot 10^{-6}$, град ⁻¹	Обрабатываемость резанием по сравнению с обрабатываемостью латуни марки ЛС63-3, принятой за 100%
Литая	Мягкая	Твердая	Литая	Мягкая	Твердая	Литая	Мягкая	Твердая	Мягкая	
7—10	15—18	48—52	50—60	60—70	4—6	60—70	60—70	160—180	18,2	20
7—10	—	—	40—50	65—75	2—4	60—75	65—75	180—200	17,8	20
17—20	20—25	33—38	10—20	35—45	4—6	120—140	100—120	180—200	18,1	20
—	—	55—60	10—30	35—45	9—15	160—180	130—150	180—220	17,1	20
18—23	28—32	46—53	20—30	20—40	4—5	110—130	160—180	160—180	17,0	20
18—22	26—30	—	20—30	20—30	9—12	130—160	125—140	160—200	16,0	29

Таблица 1. Химический состав алюминиевых латуней

Марка латуни	Содержание элементов, %							
	Cu	Al	Fe	Ni	Mn	As	Si	Zn
ЛА77-2	76,0—79,0	1,75—2,5	—	—	—	0,025	—	Остальное
ЛАЖ60-1-1	58,0—61,0	0,75—1,5	0,75—1,5	—	0,1—0,6	—	—	»
ЛАН59-3-2	57,0—60,0	2,5—3,5	—	2,0—3,0	—	—	—	»
ЛАМш72-2-0,5	76,0—79,0	1,75—2,5	—	—	—	0,05	—	»
ЛАНКМп75-2-2,5-0,5-0,5	73,0—76,0	1,6—2,2	—	2,0—3,0	0,3—0,7	—	0,3—0,7	»

Таблица 2. Свойства алюминиевых латуней

Марка латуни	D , г/см ³	$t_{пл}$, °C	λ , ккал/см·сек·град	ρ , ом·мм ² /м	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ , %	НВ	$\alpha \cdot 10^{-6}$, град ⁻¹	Обрабатываемость резанием по сравнению с обрабатываемостью латуни ЛС63-3, принятой за 100%
ЛА77-2	8,6	1000	0,27	0,075	38	14	50	50	18,3	30
ЛАЖ60-1-1	8,2	904	—	0,090	42	20	50	80	21,6	—
ЛАН59-3-2	8,4	986	0,20	0,078	50	30	42	117	19,0	15
ЛАМш72-2-0,5	8,7	995	0,26	0,08	40	—	45	55	18,4	31
ЛАНКМп75-2-2,5-0,5-0,5	8,6	1000	0,3	0,10	90	—	8	250	18,3	30

Примечание: Свойства латуней (кроме латуни марки ЛАНКМп75-2-2,5-0,5-0,5) указаны для прессованного состояния (для среднего состава); свойства латуни марки ЛАНКМп75-2-2,5-0,5-0,5 — после закалки с т-ры 780° С и старения при т-ре 500° С.

А. л. марки ЛА77-2 в наклепанном состоянии склонна к коррозионному (сезонному) растрескиванию, к-рое предотвращают, применяя низкотемпературный отжиг при т-ре 250—300° С для уменьшения остаточных напряжений. Полуфабрикаты из А. л. (прутки, трубы) получают прессованием слитков в горячем состоянии (т-ра горячей обработки А. л. — 700—770°). Отжиг А. л. проводят при т-ре 600—650° С. А. л. марок ЛА77-2 и ЛАМш72-2-0,5 используют для изготовления конденсаторных труб в судостроении и теплоэнергетике; из А. л. марки ЛАЖ60-1-1 изготавливают детали судовых агрегатов, эксплуатируемых в морской воде; А. л. марки ЛАН59-3-2 предназначена для изготовления деталей, к которым предъявляются требования повышенной прочности и коррозионной стойкости. А. л. марки ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5 применяется для изготовления сильфонов. Хим. состав А. л. определяется ГОСТом 15527—70. См. также *Литунь*.

Лит.: Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974; Справочник машиностроителя, т. 6. М., 1964.
Г. Е. Шпичинецкий, Е. С. Шпичинецкий.

АЛЮМИНИЕВАЯ ПУДРА — окисленные частицы тонкого помола порошка алюминия или его сплавов. Различают А. п. пигментную (из частиц-чешуек) и комковатую (из частиц-комков). Пром. производство пигментной пудры относится к 1930—31, комковатой — к 1954—55. П и г м е н т н а я А. п. марок ПАП-1 и ПАП-2 (табл. 1) представляет собой легко мажущий материал серебристо-серого цвета с размером частиц 0,3—1 мкм. Получают ее сухим помолом *алюминиевого порошка* в шаровой мельнице закрытого типа при непрерывной циркуляции газовой смеси азота с кислородом (2—8%). Необходимого измельчения, требуемой кроющей способности и всплываемости добиваются добавлением в мельницу стеарина. Насыпная масса пудры — около 0,2 г/см³. Осн. области применения — приготовление красок, эмалей, резиновых клеев, пиротехника, произ-во *ячеистых бетонов*. К о м к о в а н н а я А. п. марок АПС-1 и АПС-2 (табл. 2) представляет собой частицы-комки серого цвета с металлическим блеском. Комкование частиц обусловливается добавлением меньшего (по сравнению с пигментной пудрой) количества стеарина. Размер комков неправильной формы — до 900 мкм. Изготавливают пудру из чистого алюминия марок А6 и А7 или из леги-

Таблица 1. Характеристики пигментной алюминиевой пудры

Марка пудры	Кроющая способность на воде, см ² /г, не менее	Всплываемость, %, не менее	Примеси, %, не более				Содержание, %, не более	
			Fe	Si	Cu	Mn	влаги	стеарина
ПАП-1	7000	80	0,5	0,4	0,05	0,01	0,2	3,8
ПАП-2	10 000	80	0,5	0,4	0,05	0,01	0,2	3,8

Таблица 2. Характеристики комковатой алюминиевой пудры

Марка пудры	Химический состав, %			Содержание, %, не более		Зерновой состав (остаток на ситах с сетками), %, не более	
	Al ₂ O ₃	Активный алюминий	Fe	влаги	стеарина	1,6	0,9
АПС-1	6—9	94	0,2	0,1	0,20	1,0	10,0
АПС-2	От 9 до 13	91	0,2	0,1	0,25	0,5	6,0

ованных алюминиевых порошков. Пасынная масса шудры не менее 1 г/см^3 . Из комкованной А. п. изготовляют *спеченную алюминиевую пудру* (материал САП). Характеристики пигментной А. п. включены в ГОСТ 5494—71, комкованной А. п. — в ГОСТ 10096—62.

Лит.: Теплопрочный материал из спеченной алюминиевой пудры (САП). М., 1961; Шеламов В. А., Литвинцев А. И. Физико-химические основы производства полуфабрикатов из спеченных алюминиевых порошков. М., 1970; Цветные металлы. Свойства. Сортамент. Применение. М., 1973. А. И. Литвинцев.

АЛЮМИНИЕВЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы алюминия или его сплавов. Впервые начал применяться в конце 20-х гг. 20 в. в США. Осн. пром. способом произ-ва А. п. является распыление жидкого алюминия или его сплавов. Из первичного алюминия марок А5, А6, А7 и А8 изготовляют порошки марок: АП, АПЖ, ПАД и АСД-В4 (табл. 1).

Из вторичного алюминия изготовляют порошok марки АПВ с содержанием примесей не более, чем во вторичном алюминии марки АВ86. Распыляют жидкий алюминий с т-ры $720\text{—}790^\circ \text{C}$ струей смеси азота с кислородом (2—6%). Размер полученных частиц $1 \div 1000 \text{ мкм}$, средний их размер 150—200 мкм. В результате большой активности алюминия по отношению к кислороду частицы по-

рошка всегда окислены. Содержа-ние окиси алюминия зависит от удельной поверхности частиц, образовавшихся при распылении. Кроме обычных, различают гранулированные порошки с размером частиц 1000—5000 мкм и более. Высокая скорость охлаждения жидких алюминиевых сплавов ($\sim 10^4 \text{ град/сек}$) в процессе распыления обеспечивает образование неравновесных твердых раство-ров даже таких малорастворимых в алюминии переходных металлов, как марганец, хром и титан, или диспергирование первичных и эвтектиче-ских кристаллов кремния и интерметаллидов железа, никеля и др. (табл. 2). А. п., полученные из расплавов, легированных этими эле-ментами, по твердости и прочности превосходят порошки, полученные из нелегированного алюминия. А. п. получают также фрезерованием или с помощью ультразвука. При фрезе-ровании алюминиевых заготовок, чтобы предохранить частицы алюми-ния от окисления, в зону резания через форсунку подают инертные к алюминию жидкости, напр. кет-росин. Полученную в результате такой переработки стружку приме-няют в хим. пром-сти и в произ-ве минеральных красок. Распыление

Таблица 1. Химический состав алюминиевых порошков из алюминия

Марка порошка	Активный алюминий, %	Примесь, %, не более					ТУ
		Fe	Si	Cu	Zn	Ti	
АП	98	0,4	0,3	0,03	—	—	48—05—80—73
АПЖ	96	0,2	0,12	0,01	0,03	—	48—5—36—73
ПАД	99	0,2	0,17	—	—	—	48—01—82—71
АСД-В4	99,982	0,008	0,008	0,001	0,001	0,001	6—02—848—74

Таблица 2. Химический состав алюминиевых порошков из алюминиевых сплавов

Марка порошка	Содержание элементов, %						ТУ
	Al	Mn	Ag	Si	Fe	Ni	
ПАМр-10	Основа	7,0—13,0	—	—	—	—	48—21—390—74
Алюминий — серебро	50—70	—	50—30	—	—	—	6—02—941—74
САС-1	Основа	—	—	25—30	$\leq 0,5$	5—6	48—21—447—75
САС-2	»	—	—	25—30	5—7	—	48—21—447—75

Примечание: В порошке марки ПАМр-10 допускается до 1% Fe.

жидкого алюминия с помощью ультразвука позволяет получать порошки с размером частиц $1 \div 1000$ мкм. Перспективен способ электролитического выделения порошков из жидких хлоридов натрия и алюминия. Исследована возможность восстановления хлорида алюминия в водородной плазме и прямого восстановления окиси алюминия углеродом в условиях плазменных температур. А. п., изготовленные из чистого алюминия, используют как *раскислители* обычных и качественных сталей, для *алитирования* стальных изделий, как *металлическое топливо*, в пиротехнике, для изготовления окисно-полупроводниковых конденсаторов, а также для производства *алюминевых пудр* марок ПАП и АПС и термитных смесей (см. *Термит*). Для раскисления стали применяют порошки марок АПВ и АПЖ и гранулированные порошки. Порошки алюминиевых сплавов применяют в приборостроении, для пайки алюминиевых радиаторов, для изготовления кислородных электродов.

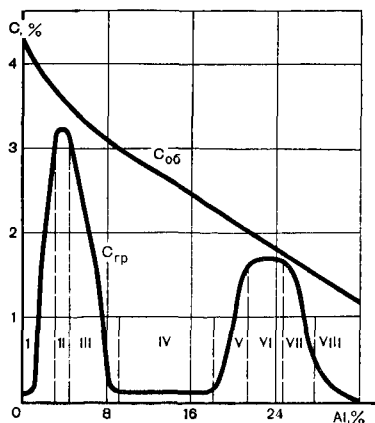
Лит.: Материалы в машиностроении, т. 1. М., 1967; Алюминиевые сплавы. Справочное руководство. М., 1972.

А. И. Литвинцев.

АЛЮМИНИЕВЫЙ ЧУГУН — чугун, легированный *алюминием*. В промышленных масштабах используется с 30-х гг. 20 в. Различают А. ч. конструкционный (менее 4% Al), характеризующийся высокими мех. св-вами, и специальный (более 5% Al), отличающийся жаростойкостью, коррозионной стойкостью и износостойкостью. В обычных условиях затвердевания и при относительно низком суммарном содержании кремния, марганца, фосфора и серы (1—1,5%) в А. ч. образуются различные структурные зоны. Первичная кристаллизация А. ч. протекает с образованием избыточных кристаллов *твердых растворов* — *аустенита* или *феррита* и высокоуглеродистых фаз (Fe_3C , *графита*, Fe_3AlC_x и Al_4C_3), последовательность возникновения и количество к-рых зависят гл. обр. от содержания алюминия (рис.). Заканчи-

вается кристаллизацией образованном *эвтектики*. Формирование литой структуры А. ч. завершается выделением избыточных фаз из твердых растворов, вторичной *графитизацией*, эвтектоидным превращением (см. *Эвтектоид*) и упорядочением феррита. Графитные включения в структуре А. ч. первой и второй графитных зон в зависимости от метода *модифицирования* и способа получения отливок приобретают пластинчатую, вермикулярную или шаровидную форму. Мех. св-ва, износостойкость и жаростойкость чугуна улучшаются, если графитные включения имеют шаровидную форму. Эту форму графита получают, добавляя комплексные модификаторы (см. *Модифицирующие материалы*), содержащие магний, редкоземельные элементы и кальций. А. ч. промежуточной и карбидной зон отличается низкой прочностью, повышенной твердостью и хрупкостью. Структура литых конструкционных А. ч. зависит от суммарного содержания углерода, кремния и алюминия. Чугуны, содержащие 0,8—1,2% Si и 2,0—3,0% Al, характеризуются хорошим сочетанием прочности, вязкости и пластичности (табл. 1). Повышенная износостойкость конструкционных А. ч. (0,8—1,2 г/км)

Зависимость растворимости углерода и графитизации алюминиевого чугуна от содержания алюминия: I, II, III — первая графитная зона; IV — промежуточная зона; V, VI, VII — вторая графитная зона; VIII — карбидная зона; $C_{\text{об}}$ — общее содержание углерода; $C_{\text{Гр}}$ — содержание графита.



обусловлена высоким содержанием фосфора (0,2—0,3%). Износостойкость А. ч. с шаровидным графитом (см. *Высокопрочный чугуун* с шаровидным графитом) значительно улучшают *изотермической закалкой* (0,10—0,20 г/см). Св-ва конструкционных А. ч. улучшают дополнительным *легированием* никелем (0,8—2,5%), хромом (0,2—0,6%), марганцем (0,8—1,2%), медью (0,5—0,8%) и молибденом (0,2—0,4%). Чугун, легированный медью, коррозионностоек во влажной среде, морской воде и др. агрессивных средах. Марганец и молибден улучшают *прокаливаемость*. Конструкционные А. ч. склонны к газонасыщению и загрязнению окисными пленками. Медленное охлаждение при *отжиге* на ферритную структуру в области субкритических т-р приводит к охрупчиванию А. ч., что проявляется, прежде всего, в снижении (в три-четыре раза) *ударной вязкости* даже при комнатной т-ре. Хрупкости А. ч. с шаровидным графитом способствуют длительные выдержки (10—20 ч) при т-ре 450—500° С. Выбор т-ры *аустенизации* А. ч. при упрочняющих видах термической

обработки определяется положением критических точек A_{c1}^H (начало нагрева) и A_{c1}^K (конец нагрева) (табл. 2). Критический интервал ($A_{c1}^K - A_{c1}^H$) для А. ч. зависит от содержания кремния и алюминия, а также соотношения феррита и перлита в исходной структуре. После изотермической закали при т-ре 300—450° С в структуре А. ч. сохраняется большое количество (20—50%) остаточного аустенита. Бейнитное превращение (см. *Бейнит*) в чугунах, содержащих 0,8—1,5% Si, сопровождается самоторможением процесса превращения с последующей стабилизацией аустенита. Изотермическая закалка при т-рах 300 и 350° С способствует образованию микроструктуры, состоящей из феррита и аустенита (20—50%), а при т-ре 450° С — из феррита и мартенсита (остаточного аустенита менее 5—10%). После отпуска А. ч. с бейнитной структурой ста-

Т а б л и ц а 1. Свойства конструкционных алюминиевых чугунов

Состояние чугуна	Форма графита	Микроструктура металлической основы	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	σ_H , кгс/мм ²	f , мм	a_H , кгс·м/см ²	НВ
Литое	Пластинчатая	Перлит	30—40	—	50—60	3,0—5,0	0,5—0,8	170—200
Литое	Шаровидная	Перлит	60—70	2,0—3,0	—	—	2,0—3,0	240—280
Отожженное	Шаровидная	Феррит	45—55	25,0—35,0	—	—	14,0—16,0	170—190
Улучшенное	Пластинчатая	Сорбит	45—55	—	55—65	4,0—6,0	0,8—1,2	260—280
Улучшенное	Шаровидная	Сорбит	80—90	6,0—8,0	—	—	3,0—4,0	280—320
После полной изотермической закали при т-ре 350° С	Пластинчатая	Бейнит	40—50	—	75—85	2,0—3,0	0,5—1,0	320—360
После полной изотермической закали при т-ре 350° С	Шаровидная	Бейнит	90—110	3,5—5,0	—	—	2,0—9,0	380—420
После неполной изотермической закали при т-ре 350° С	Шаровидная	Феррит + бейнит	60—90	8,0—10,0	—	—	2,5—4,0	260—300

П р и м е ч а н и е: f — стрела прогиба.

новится хрупким. А. ч. выплавляют в индукционных печах под слоем шлака, разливая в сухие песчаные формы через тормозящие литниковые системы. Алюминий, способствующий десульфурации чугуна, вводят с шихтой, присаживают в кусках под зеркало расплава или в ковш, добавляют в жидком состоянии (обязательно рафинируя). При обработке жидкого чугуна литьем уменьшается загрязненность окислами. Алюминий (0,8—1,2%) снижает чувствительность к скорости затвердевания отливки в форме. К специальным А. ч. относятся, напр., *чугаль* и *пиротермал*. Чугаль (20—24% Al) жаростоек, коррозионностоек в азотной к-те и морской воде. Пиротермал (29—31% Al) отличается износостойкостью при повышенных т-рах, высокой жаростойкостью (вплоть до т-ры плавления 1240° С), но склонен к самопроизвольному распаду при комнатной т-ре. А. ч. применяют в автомобиле-, трактор- и тепловозостроении для изготовления коленчатых и распределительных валов, гильз, цилиндров, головок блоков, тормозных дисков, барабанов и др. изделий.

В хим. пром-сти из А. ч. изготавливают корпуса и рабочие части насосов и компрессоров, котлы для упаривания каустической соды и хранения некоторых хим. продуктов, в металлургической пром-сти из А. ч. отливают изложницы, мушкетеры разливочных машин, отражательные плиты коксовых печей, блоки футеровки доменных печей. Из А. ч. изготавливают также стеклоформы, тормозные колодки, притиры, элементы электросопротивления, детали подъемно-транспортных устройств морских и речных судов, эксплуатируемые в агрессивных средах, в условиях износа и воздействия повышенных т-р (до 550—600° С).

Лит.: Б о б р о Ю. Г. Алюминиевые чугуны. Х., 1964; Г и р ш о в и ч Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.—Л., 1966. Ю. Г. Бобро.

АЛЮМИНИЙ [Aluminium; от лат. *alumen* (*aluminis*) — квасцы], Al — хим. элемент III группы *периодической системы элементов*; ат. н. 13,

ат. м. 26,98154. Серебристо-белый металл, при обычных условиях покрыт тонкой окисной пленкой. Во всех устойчивых соединениях А. трехвалентен, но при высоких т-рах может быть одновалентным (образуя субсоединения) и, значительно реже, двухвалентным. Состоит из стабильного изотопа ^{27}Al . Впервые А. в свободном виде выделил в 1825 датский ученый Х. К. Эрстед. Первый пром. способ произ-ва А. предложил в 1854 франц. химик А. Э. Сент-Клер Девиль. По распространенности в природе А. занимает первое место среди металлов. Его содержание в земной коре составляет 8,8%. В свободном состоянии в природе не встречается из-за высокой хим. активности. Главная масса А. сосредоточена в бокситах, *нефелинах*, *алунитах*, *каолинах* и др. Наиболее ценная алюминиевая руда — бокситы, где содержится около 50% *оксида алюминия*. Кристаллическая решетка А. граноцентрированная кубическая с периодом $a = 4,0414 \text{ \AA}$ (т-ра 20° С), *плотность* (т-ра 20° С) $2,7 \text{ г/см}^3$, $t_{\text{пл}} 660^\circ \text{ С}$, $t_{\text{кип}} 2327^\circ \text{ С}$, температурный коэфф. линейного расширения (т-ра 25° С) $24,3 \times 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, удельная *теплопроводность* (т-ра 20° С) 0,538 *кал/см · сек · град*, удельная *теплоемкость* (т-ра 20° С) 0,215 *кал/г · град*, удельное *электрическое сопротивление* (т-ра 20° С) $2,66 \cdot 10^{-6} \text{ ом · см}$, электрическое сопротивление

Т а б л и ц а 2. Температура критических точек алюминиевых чугунов

Критическая точка	Температура критической точки				
	0,5% Al	1,2% Al	2,0% Al	3,2% Al	4,0% Al
П р и н а г р е в е					
Ac_1^{H}	740	760	770	780	820
Ac_1^{K}	810	830	840	855	880
П р и о х л а ж д е н и и					
Ar_1^{H}	710	730	745	755	790
Ar_1^{K}	680	690	695	700	740

ние проводникового А. не более $0,028 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, температурный коэффициент электрического сопротивления А. — $0,004 \text{ град}^{-1}$. А. слабо парамагнитен. Отличается пластичностью, легко поддается прессованию, прокатке, ковке, штампованию и волочению. Предел прочности на растяжение $8\text{--}10 \text{ кгс/мм}^2$, предел текучести при растяжении 3 кгс/мм^2 , относительное удлинение 35%, относительное сужение 80%, твердость по Бринеллю 25, модуль норм. упругости 7100 кгс/мм^2 , модуль сдвига 2600 кгс/мм^2 . После холодной прокатки предел прочности возрастает до $18\text{--}25 \text{ кгс/мм}^2$, твердость по Бринеллю — до 45 — 60, относительное удлинение уменьшается до 3—5%. А. отличается высокой электропроводностью (четвертое место среди металлов — после серебра, меди и золота). Примеси и легирующие добавки снижают электропроводность А., особенно марганец, ванадий, хром и титан, в меньшей степени — никель, кремний, цинк, железо и медь. Так, электропроводность А. чистой 99,997% составляет 65,5% электропроводности меди, а электропроводность А. чистой 99,5% снижается до 62,5%. А. относится к химически активным металлам. На воздухе быстро покрывается тонкой прочной окисной пленкой толщиной $50\text{--}100 \text{ \AA}$, защищающей от дальнейшего окисления. Пленка имеет высокое электр. сопротивление (напряжение пробоя превышает 500 в) и, в отличие от органических изоляторов, выдерживает высокие т-ры. А. образует соединения почти со всеми элементами, растворяется в к-тах и щелочах. Однако он может успешно использоваться в коррозионных средах, в к-рых поверхностная защитная пленка окиси А. нерастворима. А. отличается высокой *коррозионной стойкостью* в воде, в том числе кипящей и морской. Он устойчив в уксусной, лимонной, винной и др. органических к-тах. А. практически не взаимодействует с концентрированной азотной к-той, мн. органическими веществами и пищевыми продуктами. Быстро растворяется в растворах едких щелочей (образуя *алюминаты*), соляной, плавиковой и бромистово-

дородной к-тах. Слабо взаимодействует с борной к-той. При обычных т-рах не взаимодействует с водой, парами воды, окисью и двуокисью углерода; при достаточно высоких т-рах способен реагировать с ними. А. устойчив в растворах серноокислых нейтральных солей магния, натрия, а также гипосульфита. Мало влияют на А. сернистый газ, аммиак и сероводород. Добавление к воде щелочей, солей, ртути, меди и ионов хлора увеличивает его коррозию. Водород растворяется в твердом А., с повышением т-ры растворимость увеличивается (при т-ре 350°C она составляет $0,002 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, а при т-ре 660°C — $0,036 \text{ см}^3/100 \text{ г}$). Компактный А. в среде азота покрывается тонкой пленкой *нитрида*. С галогенами, серой и фосфором А. взаимодействует при высоких т-рах. С более электроположительными элементами образует *алюминиды*. При нагревании А. восстанавливает большинство окислов др. металлов, что используется в алюмотермии. Произ-во А. заключается в получении окиси алюминия из алюминиевых руд щелочным, кислотным, электротермическим или комбинированными способами, получении первичного металла электролизом окиси алюминия (в спец. аппаратах — электролизерах), рафинированной в расплавленном *криолите* при т-ре около 950°C , и рафинировании этого металла. Небольшие добавки фторидов кальция, магния и натрия улучшают физико-хим. св-ва электролита, повышая эффективность электролизера. Макс. содержание окиси алюминия в электролите — 6—8%. В произ-ве используют электролизеры с непрерывными самообжигающимися анодами и боковыми или верхним подводом тока, электролизеры с обожженными анодами. Катодом служит подина ванны, анодом — погруженные в электролит угольные обожженные блоки или набивные самообжигающиеся электроды. Ванну эксплуатируют при напряжении $4,0\text{--}4,5 \text{ в}$. Сила тока, подводимая к электролизерам, — $130\text{--}160 \text{ ка}$. Плотность тока на аноде $0,7\text{--}0,8 \text{ а/см}^2$, на катоде $0,4\text{--}$

0,5 а/см². Расход электроэнергии на произ-во 1 т А. составляет 14 000—15 000 *квт · ч*. Черновой А. содержит примеси, от к-рых его очищают продуванием расплава хлором при т-ре 750—770° С в течение 10—15 мин, после чего разливают в чушки. Чистота первичного А. 99,7—99,5%. Перспективен хлоридный способ получения А., позволяющий уменьшить затраты энергии и снизить загрязнение окружающей среды. В зависимости от способа получения и хим. состава различают: А. особой чистоты, А. высокой чистоты и А. технической чистоты. А. о с о б о й ч и с т о т ы (марки А999) содержит не более 0,001% примесей. Получают его зонной плавкой и дистилляцией через субгалогениды электролитически рафинированного металла. Для более глубокой очистки эти способы комбинируют. Применяется для научно-исследовательских целей, в полупроводниковой и ядерной технике. А. в ы с о к о й ч и с т о т ы (марок А995, А99, А97, А95) содержит от 0,005 до 0,05% примесей.

Получают этот металл из первичного металла технической чистоты дополнительным рафинированием по трехслойному способу, снижающему содержание примесей железа, кремния, титана, меди и др. Используется в основном при произ-ве специальной хим. аппаратуры, электр. конденсаторов и др. А. т е х н и ч е с к о й ч и с т о т ы (марок А85, А8, А7, А6, А5, А0, А и АЕ) содержит от 0,15 до 1,00% примесей. А. марок А85 и А8 применяют для произ-ва алюминиевого проката, А. марок А7, А6 и А5 — для получения алюминиевых сплавов, фольги, произ-ва кабельных и токопроводящих изделий, *алюминиевого порошка*, для *плакирования* и пр. Для изготовления сплавов на *алюминиевой* и др. основах, спец. *лигатур*, кабельных и токопроводящих изделий применяют металл марки А0, для подшивки алюминиевых сплавов, изготовления лигатур, в *алюмотермии* — металл марки А, для произ-ва *алюминиевой катанки* — металл

марки АЕ. А. высокой и технической чистоты выпускают в чушках массой 5; 15 и 1000 кг. Осн. виды *алюминиевых полуфабрикатов* — листы, проволока и полосы. Поставляют полуфабрикаты и изделия в горячекатаном, нагартованном и отожженном состоянии. Малая плотность металла, высокая электропроводность, достаточная механическая прочность и высокая коррозионная стойкость по отношению к некоторым хим. реагентам, а также низкая себестоимость обуславливают широкое применение А. в различных областях техники. Относительно низкое сечение поглощения тепловых нейтронов, малая чувствительность структуры и мех. св-в к радиационному воздействию, а также значительная коррозионная стойкость в некоторых средах-теплоносителях позволяют использовать А. как конструкционный материал ядерных реакторов, гл. обр. с водяным охлаждением. А. применяют также для изготовления защитных оболочек тепловыделяющих элементов, трубопроводов. А. служит основой для *алюминия сплавов*, легирующим элементом в магниевых, цинковых, медных, титановых и других сплавах.

На основе А. методом порошковой металлургии созданы *спеченные алюминиевые сплавы*, отличающиеся высокой жаропрочностью. А. используют для раскисления стали, получения некоторых металлов методом *алюмотермии*, взрывчатых веществ, а также в *композиционных материалах* на различной основе. См. также *Алюминиевая бронза*, *Алюминиевая латунь*, *Алюминиевый чугун*, *Алюминирование*, *Алитурация*.

Лит.: Дриц М. Е., Фридляндер И. Н. Сплавы на основе алюминия. М., 1959; Физико-химические свойства элементов. Справочник. К., 1965; Белыев А. И. [и др.]. Получение чистого алюминия. М., 1967; Алюминиевые сплавы. Металловедение алюминия и его сплавов. М., 1971; Колачев В. А., Ливанов В. А., Елагин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М., 1972; Алюминий. Пер. с англ. М., 1972. М. Е. Дриц.

АЛЮМИНИРОВАНИЕ — нанесение на поверхность металлических изделий покрытий из металлического алюминия или алюминия сплавов. К А. прибегают, чтобы защитить поверхность изделий от *коррозии*

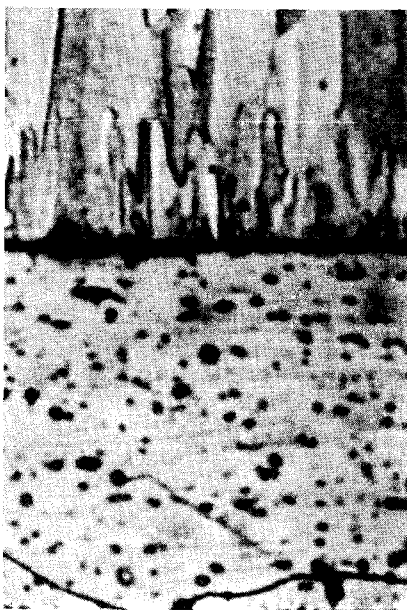
металлов, при необходимости — с декоративной целью. Покрытия создают одно- и многослойные (один из слоев — из металлического алюминия), к-рые могут быть анодированы (см. *Анодирование*) или окрашены. Широко применяется диффузионное насыщение поверхности металлических изделий алюминием (см. *Алтитрование*). А. осуществляют газопламенным и плазменным распылением металла (см. *Газопламенные покрытия*, *Плазменные покрытия*), лакированием, испарением металла в вакууме (см. *Вакуумные покрытия*). Различают также А. горячее, электролитическое и А. нанесением *алюминиевого порошка*. Горячее А., проводимое в ваннах с расплавленным металлом (так же, как и горячее *цинкование*), применяют в основном для нанесения покрытий на полосы и листы. По одному из методов горячего А. стальную полосу вначале нагревают в печи с окислительной средой до т-ры 450°C , с тем чтобы сжечь остатки смазочных масел и создать на поверхности изделия тонкую пленку окислов железа. Затем полоса поступает в печь с восстановительной средой, где при т-ре $730\text{—}800^{\circ}\text{C}$ эти окислы восстанавливаются. После охлаждения в спец. зоне печи полосу пропускают через ванну с алюминиевым расплавом, охлаждают на воздухе и сматывают в рулон. Для нагрева ванны используют силовые стержни, через к-рые пропускают электрический ток. Есть также ванны с индукционными (посредством токов низкой частоты) и магнитострикционными нагревателями. Скорость движения полосы до 1 м/сек . Толщина покрытия ($0,02\text{—}0,07\text{ мм}$) определяется его назначением и регулируется скоростью движения полосы и т-рой расплава. Рулоны окончательно обрабатывают обычно в правильных машинах, иногда — в клетях для холодной прокатки (дрессировки). Для того, чтобы на поверхности изделий и расплавленного металла не образовывались окисные пленки, снижающие *адгезию* алюминия и основу, в металл вводят *флюсы*, процесс ведут в защитной среде или на поверхность изделия предварительно наносят промежуточные покрытия. При А.

стальных изделий флюсами служат *бура*, хлористый аммоний, борная к-та, борнокислая соль, *криолит* с добавками хлористого алюминия, *хлориды* бария; материалами промежуточных покрытий — чаще всего кадмий, олово, цинк, никель. Электролитическое А. проводят из солевых расплавов, преимущественно при осаждении алюминия из электролита $\text{AlCl}_3\text{—NaCl—KCl}$ в инертной среде или из электролита $2\text{AlCl}_3\text{—NaCl}$ с добавлением сотых долей моля свинца в защитной среде азота. Оптимальные т-ры электролитов составляют $130\text{—}160^{\circ}\text{C}$, катодная плотность тока для этих электролитов соответственно $0,1\text{—}0,3$ и $3\text{—}5\text{ а/дм}^2$, выход металла по току — $90\text{—}100\%$. Покрытия получаются гладкие и плотные, однако скорость их нанесения относительно невелика — не более 20 мкм/час . Большей производительностью, чем электролитическое А., характеризуется А. нанесением на поверхность изделий *алюминиевого порошка* из жидкой фазы, электростатическим и электрофоретическим способами (см. *Электрофоретические покрытия*). Нанесение порошка из жидкой фазы осуществляют, напр., напылением раствора диэтилгидрида алюминия на изделие, нагретое до т-ры не менее 260°C . Под воздействием тепла диэтилгидрид алюминия разлагается и продукт разложения — алюминий оседает на покрываемую поверхность. Толщину покрытия ($0,5\text{ мкм—}1\text{ мм}$) регулируют т-рой нагрева. Скорость нанесения покрытия — $100\text{—}600\text{ мкм/мин}$. Покрытие отличается высокой чистотой, значительной плотностью, хорошим сцеплением с поверхностью. Процесс проводят в инертной среде (из-за опасности воспламенения диэтилгидрида алюминия). Электростатический способ А. основан на переносе отрицательно заряженных частиц *алюминиевого порошка* в электростатическом поле. По этому способу на очищенную и увлажненную поверхность изделия (стальной полосы) наносят с помощью спец. устройства сухой порошок алюминия. Составные части этого устройства — вибропитатель,

комплект вибросит и источник электростатического поля (между изделием и прилегающим к нему ситом) напряженностью до 20 кВ. Частицы алюминия, приобретая отрицательный заряд при прохождении через отрицательно заряженное сито, взаимно отталкиваются и равномерно осаждаются на алюминлируемой поверхности. Потеряв заряд при контакте с изделием, порошок удерживается на его поверхности водяной пленкой. После нанесения покрытия изделие сушат в электрической радиационной печи при t -ре 350°C в течение минуты, затем покрытие уплотняют прокаткой и очищают. На заключительной стадии изделие подвергают термической обработке: быстрому (порядка 15 сек) нагреву на воздухе до t -ры 500 — 600°C с последующим самопроизвольным охлаждением или медленному (в течение 15 ч) нагреву в печи до t -ры 450°C с последующим охлаждением на воздухе. Толщину покрытия ($0,05$ мкм — 1 мкм) регулируют скоростью подачи порошка вибропитателем. Покрытия, полученные электростатическим способом, имеют удовлетворительные св-ва, однако процесс их нанесения громоздок. По технологическим возможностям, производительности, универсальности и экономической эффективности наибольшие преимущества имеет А. испарением металла в вакууме (рис.). Структура и св-ва алюминиевых покрытий в значительной степени определяются способом их нанесения. Так, структура вакуумных покрытий и покрытий, полученных горячим способом, подобна структуре отожженного алюминия. Структура покрытий, образуемых нанесением алюминиевого порошка, газопламенным и плазменным распылением, во многом обуславливается наличием окислов алюминия. У таких покрытий выше твердость, ниже электропроводность по сравнению с чистым алюминием. На эксплуатационные св-ва алюминиевых покрытий, в частности на прочность сцепления и деформируемость, влияет толщина переходного слоя (диффузионного слоя между поверхностью и

покрытием), зависящая от t -ры и времени А. и термообработки, хим. состава изделия, а при горячем А. — и от состава расплава. Хорошими эксплуатационными св-вами отличаются алюминированные изделия с толщиной переходного слоя не более 5 — 7 мкм. При вакуумном А. толщина переходного слоя, как правило, не превышает долей микрометра. При горячем А. толщину этого слоя можно уменьшить, вводя в ванну различные добавки (напр., 2 — 12% Si). Добавки по-разному влияют на внешний вид алюминиевых покрытий: добавки висмута, кальция, кремния и меди снижают отражательную способность покрытия, добавка никеля делает покрытие шероховатым без существенного уменьшения блеска, добавки бериллия, кальция, хрома, меди и марганца придают покрытию оттенок седины. Покрытия из чистого алюминия достаточно стойки в воде и на

Микроструктура алюминиевого покрытия, состоящего преимущественно из вытянутых кристаллитов, на поверхности изделия из сплава марки АМг-6. Алюминирование осуществлялось электроннолучевым испарением алюминия в вакууме и конденсацией его паров на поверхности при t -ре 400°C , $\times 1250$.



воздухе, что обусловлено образованием на поверхности окисной пленки, защищающей металл от дальнейшего окисления. Алюминиевые покрытия устойчивее цинковых — примерно в шесть раз при одинаковой их массе и в 2,5 раза при одинаковой толщине. В атмосфере пром. предприятий стойкость горячеалюминированных изделий в 10 раз выше стойкости горячеоцинкованных, в горячей воде — в 15 раз. Алюминированные изделия сохраняют блеск до $t = 470^\circ \text{C}$, отражая 85% тепла и света. Вакуумное алюминиевое покрытие в 15—20 раз повышает стойкость стали к газовой коррозии при $t = 700\text{—}800^\circ \text{C}$. А. дает возможность защищать от коррозии детали самолетов, ракет и автомобилей, сварные трубы, стальные и кровельные панели, обогревательные приборы, сельскохозяйственный инвентарь и инструменты, изделия бытового назначения. Алюминированную жель используют взамен луженой в консервной промышленности. Экономическая эффективность А. основывается на его низкой себестоимости, на существенном повышении срока службы алюминированных изделий, прежде всего изделий из сталей и алюминиевых сплавов.

Лит.: Виткин А. И., Тейндл И. И. Металлические покрытия листовой и полосовой стали. М., 1971; Ройх И. Л., Колтунова Л. Н. Защитные вакуумные покрытия на стали. М., 1971.

В. С. Ковальчук.

АЛЮМИНИЯ СПЛАВЫ — сплавы на основе алюминия. В пром. масштабах используются со второй половины 19 в. Отличаются малой плотностью, высокими коррозионной стойкостью, теплопроводностью, электропроводностью и удельной прочностью. Различают А. с деформируемыми и литейными. Деформируемые сплавы обладают высокой пластичностью, свариваемостью, легко поддаются различной мех. обработке, не охрупчиваются при низких t -рах. Их подразделяют на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой (см. Упрочнение). Мех. св-ва неупрочняемых сплавов улучшают легированием и нагартовкой, упрочняемых сплавов — закалкой и старением (естественным или искусственным, см. Старение металлов),

дополнительной нагартовкой. Для повышения пластичности сплавы подвергают отжигу. Осн. легирующие элементы деформируемых сплавов — медь, магний, марганец, кремний, цинк и хром (табл. 1). Деформируемые сплавы повышенной пластичности (АД31, АД33, АД35 и АВ) технологичны (см. Технологичность), легко поддаются цветному анодированию и эмалированию. Отличаются высокой пластичностью в горячем, отожженном, свежезакаленном и естественно состаренном состоянии, что позволяет подвергать их штампованию, вытяжке, экструзии и т. д. Сплавы удовлетворительно свариваются аргоно-дуговой, роликовой и точечной сваркой. Применяются для изготовления различных изделий, в к-рых необходимо сочетание ср. прочности, высокой технологичности, коррозионной стойкости и хорошего декоративного вида. Сплавы марок АК6, АК6-1 (содержащие, в отличие от сплава марки АК6, добавки хрома и титана) и АК8, относящиеся к ковочным, имеют сравнительно высокие технологические и мех. св-ва. Применяют их в виде поковок, штампов, а также прессованных профилей и листов. Из высокопластичных сплавов марок АК6 и АК6-1 изготовляют крыльчатки компрессоров и вентиляторов, фитинги, стойки, подмоторные рамы и др. силовые детали. Высокопрочный сплав марки АК8 (супердуралюмин) применяют для изготовления высоконагруженных конструкций. К деформируемым конструкционным относятся сплавы типа дуралюмина, упрочняемые термической обработкой. По сравнению с другими А. с. они отличаются повышенной жаропрочностью, однако их коррозионная стойкость понижена. Для защиты от коррозии листовой материал плакируют (см. Плакирование) алюминием (2—7% с каждой стороны), часто прибегают к анодированию и нанесению лакокрасочных покрытий. Наиболее широко дуралюмин применяют в авиации. К термически упрочняемым относятся и свариваемые сплавы (напр., марки 1915)

Таблица 1. Химический состав и свойства деформируемых алюминия сплавов

Марка сплава	Содержание эле						
	Al	Cu	Mg	Mn	Si	Zn	
С п л а в ы п о в ы ш е н н о й							
АД31	Основа	—	0,4—0,9	—	0,3—0,7	—	
АД33	»	0,15—0,4	0,8—1,2	—	0,4—0,8	—	
АД35	»	—	0,8—1,4	0,5—0,9	0,8—1,2	—	
АВ	»	0,1—0,5	0,45—0,9	0,15—0,35	0,5—1,2	—	
С п л а в ы							
АК6	»	1,8—2,6	0,4—0,8	0,4—0,8	0,7—1,2	—	
АК8	»	3,9—4,8	0,4—0,8	0,4—1,0	0,6—1,2	—	
С п л а в ы							
1915	»	—	1,3—1,8	0,2—0,6	—	3,4—4,0	
С п л а в ы							
АК2	»	3,5—4,5	0,4—0,8	—	0,5—1,0	—	
АК4	»	1,9—2,5	1,4—1,8	—	0,5—1,2	—	
С п л а в ы							
В93	»	0,8—1,2	1,7—2,8	до 0,1	—	6,5—7,3	
В95	»	1,4—2,0	1,8—2,8	0,2—0,6	—	5,0—7,0	
В96	»	2,2—2,8	2,5—3,2	0,2—0,5	—	7,6—8,6	
С п л а в ы в ы с о к о							
Д20	»	6,0—7,0	—	0,4—0,8	—	—	
Д21	»	8,0—7,0	0,25—0,45	0,4—0,8	—	—	
С п л а в ы							
ВАД23	»	4,8—5,8	—	0,4—0,8	—	—	

Таблица 2. Химический состав и свойства литейных алюминия сплавов

Марка сплава	Содержание эле						
	Al	Cu	Si	Mg	Mn	Ni	
С п л а в ы							
АЛ1	Основа	3,75—4,5	0,7	1,25—1,75	—	1,75—2,5	
АЛ3	»	1,5—3,0	4,5—5,5	0,35—0,6	0,6—0,9	—	
АЛ5	»	1,0—1,5	4,5—5,5	0,35—0,6	—	—	
АЛ7	»	4,0—5,0	—	—	—	—	
АЛ19	»	4,5—5,3	—	—	0,6—1,0	—	
АЛ20	»	3,5—4,5	1,5—2,0	0,7—1,2	0,15—0,3	—	
АЛ21	»	4,6—6,0	—	0,8—1,3	0,15—0,25	2,6—3,6	
ВАЛ1	»	5,5—6,2	—	—	0,6—1,0	0,8—1,2	

ментов, %		σ _В , кгс/мм ²	σ _{0,2} , кгс/мм ²	δ, %
Cr	Прочие			
пластичности				
—	—	24	20	10
0,15—	—	32	27	12
0,35	—	—	—	—
—	—	33	28	10
—	—	34	28	14
ковочные				
—	—	39	30	10
—	—	47	38	10
свариваемые				
0,08—	0,15—	35	28	42
0,2	0,22 Zr	—	—	—
жаропрочные				
—	1,8—2,3 Ni	—	—	—
—	0,5—1,0 Fe	40	30	9
—	0,8—1,3 Ni	—	—	—
—	0,8—1,3 Fe	44	32	7
высокопрочные				
—	0,2—0,4 Fe	48	44	10
0,1—	—	56	53	8
0,25	—	—	—	—
0,1—0,2	0,1—0,2 Zr	68	65	7
и жаропрочные				
—	0,1—0,2 Ti	40	30	12
—	0,1—0,2 Ti	43	33	10
легированные				
—	0,9—1,4 Li	—	—	—
—	0,1—0,25 Cd	55	50	4

ментов, %		$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %
Ti	Прочие		
ж а р о п р о ч н ы е			
—	—	21	0,5
—	—	25	0,5
—	—	23	0,5
—	—	23	3,0
0,15—0,35	—	34	4,0
0,05—0,1	1,2—1,7 Fe		
	0,15—0,25 Cr	25	1,0
—	0,1—0,2 Cr		
	0,1—0,2 Mo	21	1,0
—	0,15—0,3 Ce		
	0,05—0,27 Zr	26	1,5

системы алюминий — цинк — магний, отличительной особенностью которых является самозакаливается, т. е. способность закаливаться на воздухе. Сплавы этой системы обладают высокими прочностными свойствами при комнатной и криогенных температурах, хорошей свариваемостью, общей коррозионной стойкостью и высокой пластичностью в горячем состоянии. Полуфабрикаты из них изготовляют в виде листов, поковок и штамповок. Такие сплавы находят применение в строительстве зданий, мостов, в вагоно- и автомобилестроении, электротехнике, точной механике и др. Жаропрочные ковочные сплавы марок АК2 и АК4 по хим. составу близки к сплавам типа дуралюмина. Полуфабрикаты из них — листы, прутки, поковки, штамповки и плиты. Сплав марки АК2 применяют для изготовления поршней, сепараторов, сплав марки АК4 — для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания. А. с. марок В93, В95 и В96 относятся к высокопрочным сплавам, характеризующимся высоким пределом текучести, близким по своему значению к пределу прочности, и пониженной пластичностью. Эти сплавы чувствительны к надрезам и перекосам, отличаются пониженной выносливостью при повторно-статических нагрузках. Полуфабрикаты из них изготовляют в виде штамповок и поковок. Сплавы марок Д20 и Д21 системы алюминий — медь — марганец относятся к высоко- и жаропрочным. Из них изготовляют лопасти, диски, крыльчатки, поршни и др. детали двигателей, а также сварные емкости (баллоны, обечайки и др.). Деформируемые легированные литием и кадмием сплавы (напр., марки ВАД23) относятся к высокопрочным конструкционным, имеют низкую плотность, повышенный модуль упругости и, кроме того, жаропрочны. Прессованные полуфабрикаты из сплава марки ВАД23 отличаются высокой *длительной прочностью* и сопротивлением ползучести. Однако у плакированных листов более низкие характеристики жаропрочности как при кратко-

Марка сплава	Содержание эле					
	Al	Cu	Si	Mg	Mn	N
С п л а в ы						
АЛ2	»	—	10,0—13,0	—	—	—
АЛ4	»	—	8,0—10,5	0,17—0,3	0,25—0,5	—
АЛ9	»	—	6,0—8,0	0,2—0,4	—	—
АЛ4М	»	1,3—2,5	8,5—10,5	0,3—0,6	—	—
ВАЛ5	»	—	6,5—8,5	0,35—0,55	—	—
В124	»	3,0—4,0	8,0—11,0	0,15—0,35	0,1—0,3	—
С п л а в ы к о р р о						
АЛ8	»	—	—	9,5—11,5	—	—
АЛ23	»	—	—	6,0—7,0	—	—
АЛ27	»	—	—	9,5—11,5	—	—

временных, так и при длительных испытаниях. К деформируемым сплавам относятся также *магналии* — сплавы, не упрочняемые термической обработкой. У л и т е й н ы х сплавов хорошая *жидкотекучесть*, значительная плотность, невысокая линейная *усадка*. Они мало склонны к образованию пустот, *трещин*, *раковин*. Применяются для литья в песчаные формы, в кокиль, под давлением, по выплавляемым моделям и центробежным способом.

Осн. легирующие элементы литейных сплавов — медь, кремний, магний, марганец, титан, никель и цирконий (табл. 2). Сплавы марок АЛ1, АЛ3, АЛ5, АЛ7, АЛ19, АЛ20, АЛ21 и ВАЛ1 относятся к жаропрочным сплавам, эксплуатируемым при t -ре до 300—400° С. У литейных герметичных сплавов марок АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ4М, ВАЛ5 и В124 оптимально сочетаются литейные св-ва, обеспечивающие хорошее заполнение формы, высокая герметичность и отсутствие горячих трещин. Их применяют для отливки изделий, эксплуатируемых под давлением до 350—500 ат. Коррозионностойкие сплавы (напр., марок АЛ8, АЛ23 и АЛ27) отличаются малой плотностью, легко обрабатываются резанием. Их используют для изготов-

ления изделий, эксплуатируемых в морской воде. К литейным сплавам относятся также *силумины*. А. с. применяют и для изготовления *спеченных алюминиевых пудр*. А. с. некоторых марок используют как *антифрикционные материалы*. См. также *Спеченные алюминиевые сплавы*, *Авиаль*.

Лит.: Фридляндер И. Н. Высокопрочные деформируемые алюминиевые сплавы. М., 1960; Колобнев И. Ф. Термическая обработка алюминиевых сплавов. М., 1966; Алюминиевые сплавы, в. 5. М., 1968; Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочное руководство. М., 1972; Колобнев И. Ф., Крымов В. В., Мельников А. В. Справочник литейщика. М., 1974. В. М. Лебедев.

АЛЮМОГЕЛЬ [от *алюм(иний)* и лат. *gelo* — застываю] — активная окись алюминия, хрупкий гель с нейтральными св-вами. Пористое вещество, напоминающее по виду *фарфор*, иногда прозрачное, резко отличающееся от обычного мелкокристаллического порошка окиси алюминия. Не растворяется и не набухает в воде и в органических жидкостях, быстро поглощает влагу и сушит почти в 10 раз полнее, чем *силикагель* (остаточная влажность в газе, пропущенном через слой А., при комнатной t -ре ~ 0,004 мг/л). Недостаток — небольшая сорбционная емкость (см. *Сорбция*). А. полу-

Продолжение табл. 2

ментов, %		Св. кгс/мм ²	δ, %
Ti	Прочие		
герметичные			
—	—	15	4
—	—	24	3
—	—	20	2
0,1—0,3	0,01—0,1 В	30	2
0,1—0,3	0,15—0,4 Ве	30	2
0,1—0,3	0,01—0,1 В	34	0,5
эластичные			
—	—	29	9
0,05—0,15	0,02—0,1 Ве 0,05—0,2 Zr	23	6
0,05—0,15	0,05—0,15 Ве 0,05—0,2 Zr	32	12

чают обезвоживанием студнеобразной гидроокиси алюминия, вследствие чего в материале возникает развитая система пор. Удельная поверхность А. — 10—1000 м²/г. А. — один из широко применяемых технических адсорбентов (см. *Адсорбция*). Его используют для глубокой осушки газов, очистки воды, осветления растворов (сахарное производство), очистки масел, керосина, бензина, попутного и природного газов (нефтеперерабатывающая пром-сть), хроматографического разделения смесей (см. *Хроматографический анализ*), улавливания ценных растворителей (спиртов, эфира, ацетона, бензола и др.), поглощения вредных примесей. А. — хороший *катализатор носитель* (гл. обр. платины и никеля), значительно повышающий их активность.

Лит.: Думанский А. В. Учение о коллоидах. М. — Л., 1948; Получение, структура и свойства сорбентов. Л., 1959; Трепел Б. Хемосорбция. Пер. с англ. М., 1958; Лунс Г. Экспериментальные методы в неорганической химии. Пер. с нем. М., 1965.

АМАЛЬГАМА (франц. *amalgame*, от греч. *μάλαγμα* — приспособление для смягчения ударов) — металлическая система, одним из компонентов которой является *ртуть*. Один из древнейших материалов (известен более 2000 лет), широкое

применение к-рого началось в 19 в. Различают А. простые, содержащие, кроме ртути, один какой-либо металл, и смешанные (сложные), к-рые содержат, кроме ртути, два или больше металлов. А. получают электрохимическим и химическим способами, а также прямым взаимодействием металлов и ртути. При комнатной т-ре А. бывают жидкие, полужидкие (суспензии) и твердые. К жидким относятся А. металлов, хорошо растворимых в ртути (серебра, золота, олова, цинка, кадмия, таллия, свинца, магния и индия), если концентрация их не превышает предела растворимости; к полужидким — А. металлов, плохо растворимых в ртути (алюминия, кобальта, железа, титана, никеля и др.); к твердым — А. металлов, хорошо растворимых в ртути, если концентрация их превышает предел растворимости. А. отличаются жидким состоянием в широком диапазоне т-р, инертностью по отношению к некоторым агрессивным средам, хорошими теплофизическими свойствами, высокой плотностью. Некоторые интерметаллические соединения ртути с металлами обладают полупроводниковыми и сверхпроводящими св-вами. Амальгамированные поверхности защищают некоторые металлические изделия, напр. цинковые, от действия серной кислоты. Широкое применение получили жидкие А., на основе к-рых создана амальгамная металлургия индия, кадмия, таллия, свинца и галлия. А. золота применяют для золочения изделий из серебра, меди, латуни и бронзы. Изучается возможность применения А. в качестве *теплоносителей* в черной металлургии. Твердые А. используют в стоматологии (сплав 59—66% Hg, 32—37% Cu, 2—4% Zn), как *припой* (сплав 4% Hg, 3% Sn, 93% Pb), в произ-ве зеркал (сплав 30% Hg, 70% Sn). Несколько ограничивает применение амальгамы токсичность ртути.

Лит.: Гавзе М. Н. Взаимодействие ртути с металлами и сплавами. М., 1966; Козин Л. Ф. Амальгамная металлургия. К., 1970; Козловский М. Т., Зебрера А. И., Гладышев В. П. Амальгамы и их применение. Алма-Ата, 1971. Г. В. Лаврова, И. А. Шека.

АМЕРИЦИЙ [Americium; от назв. континента Америка (America)], Am — искусственно полученный радиоактивный хим. элемент; ат. н. 95; относится к *актиноидам*. Блестящий серебристо-серый металл, более тягучий и ковкий, чем металлические уран и плутоний. Проявляет степень окисления от +2 до +7, наиболее стойкая степень окисления в водном растворе +3, в твердых соединениях +3 и +4. Впервые синтезирован и идентифицирован в 1945 амер. учеными Г. Сиборгом, Л. Морганом, Р. Джеймсом и А. Гиорсо в виде изотопа ^{241}Am , к-рый образовывался в нейтронном потоке ядерного реактора после захвата изотопом ^{239}Pu двух нейтронов и последующего бета-распада. Стабильных изотопов не имеет. Известны 11 изотопов А. с массовыми числами от 237 до 247. Наиболее долгоживущие — альфа-радиоактивные изотопы ^{243}Am и ^{241}Am с периодами полураспада соответственно 7370 и 435 лет. В осн. состоянии изотоп ^{242}Am — бета-излучатель с периодом полураспада 16 ч. В зависимости от т-ры А. существует в трех модификациях. При комнатной т-ре альфа-модификация с двойной гексагональной структурой плотной упаковки, подобной структуре альфа-лантана, с периодами решетки $a_0 = 3,468 \pm 0,008 \text{ \AA}$ и $c_0 = 11,241 \pm 0,003 \text{ \AA}$. При т-ре выше 600°C — устойчивая гранецентрированная кубическая структура с периодом решетки $a_0 = 4,894 \pm 0,005 \text{ \AA}$. Каких-либо определенных данных о третьей модификации нет; предполагается, что она имеет объемноцентрированную кубическую решетку. Плотность А. $13,671 \pm 0,005 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 1173^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 2607^\circ \text{C}$; коэфф. термического расширения (т-ра 20°C) равны: $\alpha_a (7.5 \pm 0.2) 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, $\alpha_c = (6.2 \pm 0.4) 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Металлический А. гораздо более электроположителен, чем уран, плутоний или плутоний, и может быть получен только при действии сильных восстановителей на его безводные соединения при высокой т-ре. Наи-

сущим для восстановления являются барий и лантан. Подобно др. актиноидам А. энергично реагирует с газообразным водородом. Изотоп ^{241}Am служит исходным материалом для получения в реакторах трансурановых элементов с высшими атомными номерами. Около 36% альфа-распадов изотопа ^{241}Am сопровождается гамма-излучением с энергией около 60 кэв, к-рое используют для многих измерительных и калибровочных целей. В смеси с бериллием изотоп ^{241}Am применяют для создания источников нейтронов. Лит.: Мясоєдов В. Ф. [и др.]. Аналитическая химия трансплутониевых элементов. М., 1972; Mc Whan D. B., Cunningham B. B., Wallmann J. C. Crystal structure, thermal expansion and melting point of americium metal. «Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry», 1962, в. 24, № 9; Хайд Э., Перлман И., Сиборг Г. Ядерные свойства тяжелых элементов, в. 1. Трансурановые элементы. Пер. с англ. М., 1967.

Г. Н. Флеров.

АМФИБОЛЫ (от греч. ἀμφίβολος — неопределенный), $\text{X}_{2-3}\text{Y}_5\text{Z}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ — минералы класса *силикатов*. В зависимости от симметрии и хим. состава подразделяются на минер. виды, к-рых насчитывается более 30. Всего же известно около 180 собственных названий А. (включая минер. виды и их разновидности). В общей ф-ле $\text{X} = \text{Ca}, \text{Na}, \text{K}, \text{Mn}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Li}$; $\text{Y} = \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Ti}$; $\text{Z} = \text{Si}, \text{Al}$. Ион гидроксила может замещаться фтором, хлором или кислородом в окисленной базальтической роговой обманке и в титаноносодержащем А.-керситите. Изоморфные замещения (см. *Изоморфизм*) в группах X, Y и Z определяют разнообразие минер. видов. Для выделения подгруппы главными являются замещения катионов группы X, минер. виды в пределах подгрупп определяются составом катионов Y и Z. Ромбические А.: литиевые (X занято Li) — *холомквистит*; магнезиально-железистые (X занято Fe^{2+} и Mg) — *антофиллит* и *жедрит*. Моноклинные А.: литиевые (X занято Li) — *клинохоломквистит*; марганцевые (X занято Mn, Mg, Fe^{2+}) — *тиродит*, *даннеморит*; магнезиально-железистые (X занято Fe^{2+} и Mg) — *кумингтонит*, *грюнерит*; на-

пирит, глаукофан, рибекит, экерманит, арфведсонит; натриево-кальциевые (X занято Na и Ca) — рихтерит, винчит, катопорит, тарамит; кальциевые (X занято Ca) — тремолит, актинолит, роговая обманка, эденит, паргасит, чермакит, гастингсит. Структура цепочечная, сингония ромбическая и моноклиновая. Встречаются в виде удлиненных шестоватых, призматических, игольчатых и волокнистых кристаллов, образующих сплошные скопления, зернистые включения, радиально-лучистые и звездчатые агрегаты, параллельно-волокнистые, спутанно-волокнистые и скрытокристаллические массы. Кристаллы отличаются хорошо выраженной спайностью (см. *Спайность минералов*) по (110) под углом 124° . Плотность $2,9-3,4 \text{ г/см}^3$. Твердость $5,5-6,0$. Бесцветны или окрашены в зеленый, бурый, черный, голубой и синий цвет (см. *Цвет минералов*). Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Излом (см. *Излом минералов*) не по спайности, неровный, занозистый. Плеохроизм у густо окрашенных А. хорошо заметен, у бледно окрашенных выражен слабо. Окраска, плотность, показатели преломления зависят от катионного состава и гл. обр. от наличия двух- и трехвалентного железа, титана, щелочей. А. относятся к главным минералам многих магматических, метаморфических и метасоматических пород, составляя около 7% массы земной коры. Особенно широко распространены кальциевые А., к-рые часто образуют мономинеральные разновидности пород — горнблендиты, амфиболиты, актинолититы и тремолититы. Магнезиально-железистые и щелочные А. входят в состав антофилитовых, куммингтонитовых, грюнеритовых и глаукофановых сланцев и роговиков. Марганцевые и литиевые А. сравнительно редки. Наряду с полнокристаллическими А. образуют в природных условиях волокнистые и скрытокристаллические разновидности — асбесты и нефриты. Синтезируют А. в пирогенных (при замене гидроксидов фтором) и гидротермальных условиях. В первом

случае фторамфиболы получают при $t=1000-1300^\circ \text{C}$ и атм. давлении сплавлением шихты соответствующего состава, во втором гидроксиламфиболы синтезируют при давлении водяного пара $\sim 1020-2040 \text{ кгс/см}^2$ и $t=500-600^\circ \text{C}$. Синтезируются почти все природные А., а также их искусственные аналоги, не имеющие прототипов в природе. В промышленности используют ценные технические свойства амфиболовых асбестов: способность расщепляться на тончайшие эластичные и прочные волокна, кислотостойкость, щелочестойкость, термостойкость и плохую электропроводность, способность к адсорбции и набуханию. Они широко применяются в областях техники, связанных с химическим, нефтехимическим, радио- и электротехническим, асбестоцементным и асбестобумажным производством. Нефрит используется как поделочный камень.

Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Соболева М. В. Минералогия волокнистых минералов группы амфиболов и серпентина. М., 1972; Литвин А. Л. Кальциевые амфиболы (Структура, распределение катионов, параметры элементарной ячейки). К., 1973; Дир У. А., Хауи С. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 2. Пер. с англ. М., 1965.

А. Л. Литвин.

АНАТАЗ (от греч. *ánatasis* — удлинение), TiO_2 — минерал класса окислов и гидроокислов, одна из трех полиморфных модификаций двуокиси титана. Разность аномалии обитий (до 21,61% Nb_2O_5). Хим. состав (%): Ti — 60; O — 40. Содержит изоморфные (см. *Изоморфизм*) примеси железа, иногда олова и ниобия. Структура субкаркасная, сингония тетрагональная, вид симметрии дитетрагонально-дипирамидальный. Образует остроугольные (таблитчатые) и призматические кристаллы. Двойники встречаются редко. На поверхности кристаллов часто наблюдается горизонтальная штриховка. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (001) и (111). Плотность $3,9 \text{ г/см}^3$. Твердость 5–6. Хрущкий. Цвет (см. *Цвет минералов*) зеленовато-желтый

до бурого, зеленоватый, изредка бесцветный, красновато-бурый, сине-ватый до черного. Встречаются кристаллы с пятнистой окраской. Черта бесцветная, светло-желтая или буровато-желтая. Блеск (см. *Блеск минералов*) от алмазного до металлоидного. Излом (см. *Излом минералов*) неясно раковистый. Кристаллы просвечивают, в мелких обломках — прозрачные. *Плеохроизм* слабый и лишь в отдельных интенсивно окрашенных разностях сильный. Минерал одноосный, отрицательный, иногда аномально-двухосный с небольшим $2V$. Показатели преломления: $n_0 = 2,55$; $n_e = 2,49$. В к-тах не растворяется. При т-ре выше 900°C переходит в *рутил*. Встречается в *пегматитах*, *сланцах*, жилах альпийского типа, в россыпях, бокситах. А. получают реакцией TiCl_4 или TiF_4 с парами воды при т-ре 767°C , взаимодействием TiCl_3 с кислородом при низких т-рах, осаждением аммиаком из растворов TiCl_4 . Образуется также при старении золь TiO_2 . Применяется для получения *ферротитана*, выплавки стали спец. сортов, изготовления титановых *белил*. Прозрачные разности минерала используют в ювелирном деле.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Минералы. Справочник, т. 2, в. 2. М., 1965; Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971. С. Н. Цымбал.

АНГИДРИТ (от греч. *án* ... — приставка со значением отрицания и *ídōr* — вода), CaSO_4 — минерал класса *сульфатов*. Хим. состав (%): CaO — 41,2; SO_3 — 58,8. Содержит иногда изоморфные примеси стронция и бария. Структура островная, сингония ромбическая, вид симметрии ромбодипирамидальный. Образуется плотные мелкозернистые, шестоватые, листоватые, волокнистые агрегаты. Редко встречаются толсто-таблитчатые или призматические кристаллы. Для А. характерно развитие полисинтетических двойников по (101). Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (001), (010) и (100). *Плотность* 2,8—3,0 г/см³.

Твердость 3,0—3,5. Хрупкий. Чистые прозрачные кристаллы бесцветны (см. *Цвет минералов*), агрегаты белые, иногда примеси придают им серую, бурую, голубую и фиолетовую окраску. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Излом (см. *Излом минералов*) неровный, до занозистого. Фиолетовые разности плеохроируют (см. *Плеохроизм*): по N_g — фиолетовые, по N_m — бледно-фиолетовые или розовые, по N_p — бесцветные до бледно-желтых. Двухосный, положительный; показатели преломления: $n_g = 1,614$; $n_m = 1,575$; $n_p = 1,571$; $2V = 42^\circ$. Растворяется в к-тах. При т-ре 1193°C переходит в гексагональную высокотемпературную модификацию. Образуется осаждением из морских водоемов вместе с *гипсом* и др. минералами соляных отложений. Кристаллы синтезируют из медленно остывающих сплавов CaSO_4 с CaCl_2 , BaCl_2 или NaCl , а также сплава CaCl_2 с K_2SO_4 , либо нагревая гипс с NaCl в закрытой трубке. Тонкозернистый А. получают испарением растворов CaSO_4 в смеси с NaCl , MgCl_2 и др. растворимыми солями, при обезвоживании гипса. Используется в произ-ве *цемента*, как удобрение и для всевозможных поделок.

Лит.: Бетехтин А. Г. Минералогия. М., 1950; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 5. Пер. с англ. М., 1966. А. А. Кульчицкая.

АНГОБ (франц. *engobe*) — глиняное покрытие на керамических изделиях, изменяющее (маскирующее) грубую *текстуру керамики* или ее цвет. Различают А. белые (из беложгущихся глин) и цветные (из глин с мелко измельченными добавками *минеральных красок*, окрашивающих окислов или их сочетаний).

Примерный состав А.: часоваярская глина — 50—70%, глуховецкий каолин — 5—15%, кварцевый песок — 12—30%. Ангобирование (нанесение глиняных покрытий) широко применялось в античном декоративном искусстве и сохранилось до наших дней. Используется в произ-ве гончарных и керамических изде-

лий, поэтому отличаются от аналогичного технологическими особенностями. При изготовлении промывки из шмотизированной массы покрытие наносят на сырые изделия в виде пасты, а затем покрывают *глазурью*. Чтобы создать А. на мелких изделиях, их либо обливают глиняной массой, либо погружают в нее. Густые А. используют для украшения гончарной посуды несложным орнаментом. В произ-ве архитектурно-художественной керамики, напр. *майолики*, прибегают к полному или контурному (по сюжету рисунка) нанесению слоя белого или цветного покрытия. При изготовлении скульптур или сервизов применяют многослойные отливки в гипсовых формах: сначала в негативы рельефных украшений заливают цветную глиняную массу, а затем шликер из фарфоровой массы. Авгобирование используется также в производстве облицовочных кирпичей и блоков.

После нанесения покрытия (с помощью машин или вручную) изделия подвергают обжигу. Чтобы покрытие, используемое в произ-ве неглазурованных изделий, прочно соединилось с авгобируемыми поверхностями, в него вводят минер. и синтетические флюсы — *полевой шпат*, мел, доломит, соду, поташ, соединения бора и свинца. Растворимые и ядовитые флюсы предварительно фриттуют (сплавляют) с кварцевым песком. Выбор и расчет количества флюсов определяются т-рой спекания изделий. Для цветного А. используют закись кобальта (CoO), придающую покрытию синюю и голубую окраску. Окись хрома (Cr_2O_3) и окись меди (CuO) придают ему зеленую окраску; окись железа (Fe_2O_3) и двуокись марганца (MnO_2) — коричневую, желтую. Синтетические пигменты создают разнообразную палитру розовых, фиолетовых и др. цветов.

Лит.: Будников П. П. [и др.]. Технологии керамики и огнеупоров. М., 1962; Августиник А. И. Керамика. Л., 1975.

И. А. Булавин.

АНДАЛУЗИТ [от назв. провинции Андалузия (Andalucía), Испании], $\text{AlAl}[\text{SiO}_4]\text{O}$ — минерал класса *силикатов*. Разности: х и а с т о - л и т (с углистыми включениями, расположенными крестообразно) и

а н д а л у з и т м а р г а н ц е - в ы й. Хим. состав (%): Al_2O_3 — 63,1; SiO_2 — 36,9. Часто содержит примеси марганца (до 7,7%), железа (до 9,6%), щелочей. Структура островная, сингония ромбическая, вид симметрии ромбоидпирамидальный. Чаще всего встречается в виде крупнопризматических и столбчатых кристаллов, иногда в виде волокнистых агрегатов. Двойники редки по (101). Спайность (см. *Спайность минералов*) по (110) совершенная, по (100) несовершенная. Плотность 3,13—3,16 г/см³. Твердость 6,5—7,5. Цвет (см. *Цвет минералов*) обычно розовый, реже белый, розовато-красный, серый, фиолетовый, зеленый. Черта белая. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Излом (см. *Излом минералов*) неровный, занозистый. В шлифах бесцветный, зеленоватый. Плеохроизм слабый: по N_p — розовый, ярко-розовый, по N_m и N_g — зеленоватожелтый. Двупреломление $n_g - n_p = 0,009 - 0,011$; $-2V = 73 - 86^\circ$. Встречается обычно в глинистых сланцах и контактных ореолах вокруг интрузий магматических пород, реже — как продукт регионального метаморфизма в *гнейсах* и *сланцах* в ассоциации с *гранатом*, *корундом*, *дистеном* и др. минералами, а также как контактово-метасоматическое образование во «вторичных кварцитах» при метаморфизме кислых эффузивных пород. А. получают гидротермальным способом из каолинита или смеси $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$. Применяется в произ-ве *кислотостойких материалов*, *силумина*, *огнеупорных материалов*, как поделочный камень.

Лит.: Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Д. ж. Породообразующие минералы, т. 1. Пер. с англ. М., 1965.

Б. И. Горошников.

АНДЕЗИТ [от названия горной цепи Анды (Andes) в Южной Америке] — эффузивная кайнотипная порода, аналог *диорита*. А. палеотипного облика наз. андезитовыми порфиритами. А. и андезитовые

Л. Г. Бернадская.

порфи́риты сложены афанитовой основной массой с фенокристаллами *плаггиоклаза*, *моноклинного* и *ромбического пироксена* или *роговой обманки*, *биотита*. Среди них выделяют разновидности *авгитовые*, *гиперстеновые*, *роговообманковые* и *слюдяные*. Наиболее распространены *авгитовые* и *авгито-гиперстеновые*. Состав *плаггиоклаза* порфировых выделений — от *андезина* до *лабрадора*. Для них характерно зональное строение и двойникование. *Пироксены* *вкрапленников*: *диопсид-авгит* и *гиперстен*, реже *энстатит*. Афанитовая основная масса А. *слагается* преим. *микролитами* *плаггиоклаза*, обычно не оснóвнее *андезина*, *моноклинным пироксеном* типа *авгита*; содержатся также *микролиты* *магнетита*, *апатит*, иногда *циркон*; встречаются *кордиерит* и *гранат*. Постоянная составная часть А. — *стекло*. Структура преим. *порфировая*. Для основной массы А. наиболее часты *гялопидитовая*, *пидотакситовая*, реже — *интерсертальная структура*. Ср. хим. состав (%): SiO_2 — 59,59; TiO_2 — 0,77; Al_2O_3 — 17,31; Fe_2O_3 — 3,33; FeO — 3,13; MnO — 0,18; MgO — 2,75; CaO — 5,80; Na_2O — 3,58; K_2O — 2,04; H_2O — 1,26; P_2O_5 — 0,26. Цвет темно-серый, бурый, черный и др. Ср. *плотность* *палеотипных андезитовых порфиров* 2,73, *кайно-типных А.* 2,49 г/см³, *модуль Юнга* (0,61—4,59) 10^3 кгс/мм², *коэфф. теплопроводности* 2,6 ккал/м · ч × град (т-ра 20° С), *коэфф. температуропроводности* до $4,5 \cdot 10^{-3}$ м²/ч (т-ра 20° С); *предел прочности гиперстенового А.* 1356,2 и 1315,4 кгс/см², *силы сцепления* 295,7 и 285,5 кгс/см², *кислотостойкость* 95—97%. А. образует вместе с *базальтом* главную массу *излившихся пород* в областях *современного* и *древнего вулканизма*. Используется как *кислотостойкий материал* для футеровки *реакционных*, *сушильных* и *абсорбционных башен*, *отстойников* и др., в качестве *наполнителей* в *кислотостойком бетоне* и *цементе*, в *строительстве зданий* и *дорог*.

Лит.: Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., 1961; Коб-

АНИЗОТРОПИЯ (от греч. *ἄνισος* — неравный и *τροπή* — направление) — различие свойств материала в разных направлениях. Соответственно материалы, св-ва к-рых в разных направлениях неодинаковы, наз. *анизотропными*. Материалы с аморфной структурой или *поликристаллы* с равновероятным расположением кристаллитов и структурных элементов обычно *изотропны* (см. *Изотропия*), а материалы с закономерным внутренним строением (напр., *монокристаллы*), как правило, *анизотропны*. Анизотропны и материалы с т. н. конструктивной А. — *железобетон*, *металлические композиционные материалы*. К наиболее важным для практики св-вам, проявляющим А., относятся мех. св-ва (*деформируемость* и пр.), *электропроводность* и *электрическое сопротивление*, магн. св-ва (см. *Магнитная анизотропия*), *теплопроводность*, *оптические св-ва* (см. *Оптическая анизотропия*). А. мех. свойств материалов может быть начальной (исходной), т. е. существующей до их нагружения, и вторичной (деформационной), т. е. изменившейся или вновь возникшей вследствие деформации. Начальной является, напр., А. упругих св-в многих *монокристаллов*, вторичной — зависимость предела *текучести* или сопротивления разрушению от ориентации образца материала относительно направления *деформационного упрочнения*. В соответствии с осн. стадиями нагружения (упругой, упругопластической, разрушением) различают А. св-в, связанных с *упругостью* материала; А. сопротивления малым пластическим деформациям; А. характеристик, обусловленных большой пластической деформацией, и А. характеристик, связанных с разрушением. В первом случае напряженное состояние в пределах упругости и вне их может сильно изменяться. Во втором и третьем случаях А. проявляется только в упругопластической области, а вне ее материал может вести себя как *изотропный*. Мо-

ют также встречаться упруго и пластически изотропные материалы, проявляющие А. только при разрушении или при каком-либо одном его виде. А. предела усталости (см. *Усталость материалов*), ударной вязкости, вязкости разрушения проявляется обычно резче, чем А. прочностных характеристик, получаемых при испытании гладких образцов материала. Для таких образцов А. пластичности обычно существенно выше А. прочности. По структурному признаку различают А. гомогенную (кристаллическую) и гетерогенную (волоконистую, полосчатую и т. п.). Гомогенная А. обусловлена кристаллическим строением твердых тел и проявляется как у макро- и микрогомогенных (см. *Гомогенная структура*), так и *гетерогенных структур*; гетерогенная А. присуща только гетерогенным структурам (при наличии волокнистости, полосчатости и т. п.). Различают также А. прямо- и криволинейную. У материала с прямолинейной А. эквивалентные направления (направления одинаковых св-в) параллельны друг другу, у материала с криволинейной А. эти направления не параллельны. Прямолинейной А. обычно отличаются волокнистые металлические композиционные материалы, прямые прокатанные или отпрессованные полосы, железобетонные брусья с продольной армировкой. Криволинейная А. ха-

рактерна для кованных коленчатых валов, металлических труб с ориентацией волокон по кольцу, для железобетонных балок с криволинейным расположением арматуры. Число возможных видов криволинейной А. практически неограниченно. Наиболее важны для практики А. сферическая и цилиндрическая. Св-ва мн. анизотропных материалов, так же, как и их строение, имеют определенную симметрию. При симметрии св-в в материалах существуют определенные эквивалентные направления, для к-рых св-ва одинаковы (у изотропного материала все направления эквивалентны). Использование понятия симметрии свойств анизотропных материалов существенно облегчает решение задач, имеющих теоретическое и практическое значение. К упругоанизотропным материалам относятся мн. металлические монокристаллы (табл. 1), поликристаллы (при наличии кристаллографической текстуры), материалы с конструктивной анизотропией. Обработанные давлением металлические материалы обладают симметрией мн. св-в, близкой к симметрии ортотропных материалов. Это позволяет применять к ним теорию упругости ортотропного тела и рассчитывать их технические постоянные

Таблица 1. Свойства упругоанизотропных металлических монокристаллов

Металл	Тип решетки	Е, кгс/мм ²		G, кгс/мм ²	
		Максимальное значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Минимальное значение
Алюминий	Гранецентрированная кубическая	7700	6400	2900	2500
Медь		19 400	6800	7700	3100
Серебро		11 700	4400	4450	1970
Золото		11 400	4200	4100	1800
Железо	Объемноцентрированная кубическая	29 000	13 500	11 800	6100
Вольфрам		40 000	40 000	15 500	15 500
Магний	Гранецентрированная плотноупакованная	5140	4370	1840	1710
Цинк		12 630	3650	4970	2780
Кадмий		8300	2880	2510	1840

упругости в произвольном направлении, пользуясь известными значениями этих постоянных в направлениях осей симметрии и в диагональных направлениях в каждой плоскости симметрии. Таким образом, даже для листового материала необходимо проводить испытания в трех направлениях (а не в двух, как это часто делается), чтобы сделать заключение о наличии или отсутствии анизотропии. Значения св-в в продольном и поперечном направлениях часто совпадают, тогда как в иных направлениях они могут существенно отличаться. Это особенно относится к характеристикам сопротивления деформации, а иногда и к характеристикам сопротивления разрушению (для пластичного состояния материала).

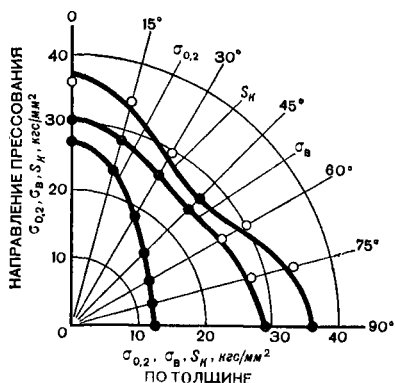
Указанные характеристики связаны в основном с касательными напряжениями, макс. значения к-рых ориентированы одинаково как у продольных, так и у поперечных образцов материала. Наличие у металлических материалов после обработки давлением симметрии, близкой к ортогональной не только в отношении упругих св-в, но и в отношении характеристик сопротивления деформации и разрушению, позволяет рассчитывать эти характеристики в произвольном направлении по ограниченному числу опытных данных. Сопоставление рассчитанных и экспериментальных данных показывает хорошее их соответствие (рис.). Для листовых материалов важное значение имеет т. н. нормальная А. (r), характеризующая соотношение характеристик св-в в плоскости листа и по его толщине

$$r = \frac{\lg \frac{w_0}{w_K}}{\lg \frac{t_0}{t_K}} \quad (1)$$

где w_0 , w_K , t_0 и t_K — соответственно начальная и конечная ширина и толщина образца при его растяжении в пределах равномерного удлинения. Иногда А. мех. св-в можно не учитывать, она может оказаться да-

же полезной, напр. для конструктивных элементов, подвергаемых одностороннему растяжению в направлении наибольшего сопротивления, — тростов, тяг, шпилек и др. изделий, не имеющих резких надрезов. Полезной может оказаться также норм. А. листов, предназначенных для глубокой вытяжки: при $r > 1$ листы хорошо сопротивляются уменьшению толщины. Однако А. в плоскости тех же листов приводит к образованию фестонов — выступов на кромке изделия. Во мн. случаях А., если ее не учесть, может привести к существенным ошибкам при конструировании, эксплуатации, обработке и контроле качества материалов. Один из осн. принципов учета А. — согласование характеристик наибольшего сопротивления с направлениями наибольших напряжений (деформаций). Широкое пром. использование получила А. магнитной проницаемости, к-рой отличается трансформаторная сталь, представляющая собой кремнистое железо. В его монокристалле ребро куба является направлением наиболее легкого намагничивания, а пространственная диагональ куба — направлением наиболее трудного намагничивания (магн. проницаемость вдоль ребра в 30 раз больше, чем вдоль диагонали). Технологией произ-ва трансформаторной стали предусмотрено получение рез-

Полярная диаграмма анизотропии прочностных характеристик полос из сплава марки ВМ65-1 сечением 42×250 мм в зависимости от направления вырезки образцов (линии — расчетные значения, точки — экспериментальные данные).



ности текстуры рекристаллизации, причем в направлении прокатки обеспечивается наиболее высокая магн. проницаемость и миним. потери на гистерезис. В магнитоприводе из текстурованной стали направление прокатки совмещают с направлением магн. потока. Удельная электропроводность в кристаллах кубической системы изотропна. Принято считать, что эта изотропия сохраняется и в поликристаллах. Однако в горячепрессованных прутках и полосах из алюминиевых сплавов наблюдается существенная А. удельной электропроводности, обусловленная гл. обр. волокнистостью и полосчатостью структуры и анизотропным старением. В гексагональных, ромбоэдрических и тетрагональных кристаллах наблюдается А. удельного электросопротивления. Изменение его в зависимости от направления подчиняется закону

$$\rho = \rho_{\perp} + (\rho_{\parallel} - \rho_{\perp}) \cos^2 \varphi, \quad (2)$$

где φ — угол между направлением измерения и главной осью кристалла; ρ_{\perp} и ρ_{\parallel} — сопротивления в направлении, соответственно перпендикулярном и параллельном главной оси. Такая же зависимость от ориентации отмечена для температурного коэфф. линейного расширения, термоэда (табл. 2). Для кристаллов с низкой симметрией характерна А. теплопроводности и оптических св-в. Анизотропны линейная сжимаемость, температурный коэфф. линейного расширения, температурный коэфф. электропроводности, скорость диффузии и само-

диффузии, магнитная восприимчивость.

Анизотропны и некоторые химические характеристики, напр. скорость окисления и травления. В технике используют материалы (напр., железобетон, волокнистые и слоистые композиционные материалы), в которых А. создается искусственно с целью улучшения их эксплуатационных св-в. К этому прибегают и для создания св-в, получить к-рые в обычных материалах (напр., электропроводных) не удастся. А. мех. св-в контролируют испытанием на растяжение образцов материала в трех или в шести направлениях с последующим расчетом св-в в любом направлении. А. постоянных упругости контролируют неразрушающим ультразвуковым методом, А. электропроводности металлических материалов — неразрушающим методом вихревых токов. Последним методом можно контролировать и А. прочности изделий из термически упрочняемых алюминиевых сплавов.

Лит.: Лехницкий С. Г. Теория упругости анизотропного тела. М.—Л., 1950; Кудрявцев И. П. Текстуры в металлах и сплавах. М., 1965; Микляев П. Г., Фридман Я. Б. Анизотропия механических свойств материалов. М., 1969; Ашкенази Е. К., Ганов Э. В. Анизотропия конструкционных материалов. Справочник. Л., 1972.

П. Г. Микляев.

АНОДИРОВАНИЕ, электрохимическое оксидирование — создание защитной оксидной (окисной) пленки на поверхности металлических изделий элект-

Таблица 2. Свойства упругоанизотропных металлов в зависимости от ориентации

Металл	$\rho \cdot 10^2$, ом · мм ² /м		$\alpha \cdot 10^{-6}$, град ⁻¹		Термоэдс · 10 ⁻⁶ , мкв/град	
		⊥		⊥		⊥
Магний	3,85	4,55	26,4	25,6	1,87	1,66
Цинк	6,06	5,83	63,9	14,1	1,32	-0,50
Кадмий	8,36	6,87	52,6	21,4	1,60	-1,74
Висмут	138	109	14,0	10,4	—	—

Примечания: 1. Удельное электрическое сопротивление приведено для комнатной т-ры. 2. Температурный коэфф. линейного расширения магния и висмута указан при т-ре около 20° С, цинка и кадмия — при т-ре 20—100° С. 3. При определении термоэда второй металл — медь. Знак «минус» означает, что через холодный спай ток течет в медь. 4. Знаки || и ⊥ показывают, что значения величин указаны в направлении, соответственно параллельном и перпендикулярном главной оси.

ролитическим способом. При А. изделия погружают в электролит и подключают к аноду источника тока. Оксидные пленки (их толщина $1 \div 200$ мкм) отличаются хорошим сцеплением с металлом, повышенной твердостью, износостойкостью, жаростойкостью и электроизоляционными св-вами. Перед А. поверхность изделий обезжиривают, очищают и подвергают травлению, после А. изделия сушат и промасливают (для защиты от коррозии). Анодируют поверхности изделий из черных и цветных металлов. При А. черных металлов изделия предварительно обрабатывают в 5%-ном растворе двуххромовокислого калия при т-ре $40\text{--}50^\circ\text{C}$ (плотность тока на аноде $3 \div 5$ а/дм², время обработки 5 мин, катод — свинцовые пластины). Затем изделия закрепляют на подвесках и погружают в ванну с 40%-ным раствором едкого натра, нагретого до т-ры $65\text{--}80^\circ\text{C}$ (плотность тока на аноде $3 \div 5$ а/дм², время обработки $20 \div 30$ мин, катод — стальные никелированные пластины). Образующаяся на поверхности изделий оксидная пленка имеет черную с синеватым оттенком окраску. Преимуществами этого способа являются пониженные концентрации едкого натра и т-ра процесса (что позволяет применять паровой подогрев); а также относительно небольшая продолжительность обработки изделий. Однако для А. изделий сложного профиля с внутренними полостями и отверстиями, труб, мелких изделий в корзинах или сетках этот способ непригоден. При А. большого количества изделий используют полуавтоматические и автоматические установки. В типовом автомате ТОА-1 осуществляют трехступенчатое щелочное А. изделий массой до 250 кг с последующим промасливанием их. В автомате последовательно установлено 15 ванн, на трассе его автоматически переключается блок-редуктор, с помощью к-рого подвески с обрабатываемыми изделиями загружают в ванны, выгружают из них и переносят. Т-ра в ваннах и количество раствора регулируются ав-

томатически. А. цветных металлов охватывает процессы на алюминии, магнии, меди, цинке и серебре. Наиболее широко распространено А. алюминия и его сплавов с использованием серноокислых электролитов, содержащих $180\text{--}200$ г/л серной кислоты. Для того чтобы уменьшить выделение газов и брызг с поверхности электролита, в него добавляют $0,02\text{--}0,05$ г/л поверхностно-активного препарата, к-рый способствует образованию слоя пены на поверхности раствора (т-ра раствора $18 \div 25^\circ\text{C}$, плотность тока на аноде $1,0 \div 2,5$ а/дм², напряжение $10 \div 15$ в, время обработки 20 мин). Поскольку при т-ре выше 25°C оксидная пленка получается рыхлой, а при т-ре ниже 15°C отличается повышенной хрупкостью, ванну оборудуют устройством для охлаждения. Катодом служат свинцовые пластины. Для лучшего использования объема ванны А. в серноокислых электролитах осуществляют переменным током пониженного напряжения. При А. используют также хромовокислые растворы, содержащие 3% хромовой кислоты при т-ре 40°C . Время обработки в них — 1 ч, плотность тока на аноде для алюминия и сплавов алюминий — магний $0,2 \div 0,3$ а/дм², для сплавов алюминий — медь — кремний $0,5 \div 0,8$ а/дм². Процесс ведут при ступенчатом повышении напряжения: в первые 15 мин его повышают до 40 в, выдерживают этот режим 35 мин, затем в течение 5 мин повышают до 50 в и поддерживают в течение 5 мин. Катодом служат пластины из нержавеющей стали или графита. Применяется также ускоренный метод обработки с использованием 9,5—10%-ного раствора хромового ангидрида. Хромовокислотным способом не рекомендуется обрабатывать сплавы алюминия с высоким содержанием меди или кремния, сплавы с неоднородной структурой и неплакированный дуралюмин. Сравнительно редко (гл. обр. для декоративной отделки поверхности, изоляции проволоки и лент) применяют А. в щавелевой к-те. При А. постоянным током используют электролит с $50 \div 100$ г/л кристаллической щавелевой кислоты; ср. плотность тока $1,5$ а/дм², напряжение

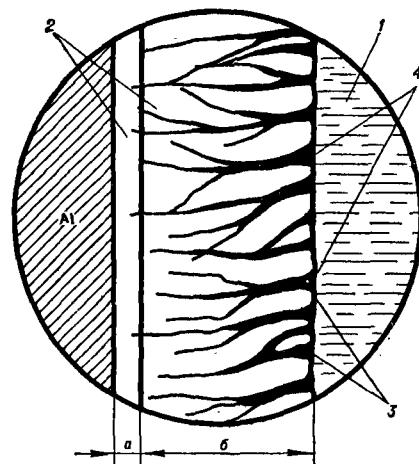
40 ÷ 60 в, время обработки 30 ÷ 40 мин. Иногда используют фосфорнокислые (100—350 г/л ортофосфорной кислоты) и борнокислотные (90—150 г/л борной кислоты, 2,5 г/л карбоната натрия) электролиты. Оксидную пленку на алюминии (рис.), отличающуюся высокой адсорбционной способностью (см. *Адсорбция*), часто окрашивают в разные цвета обработкой в водных растворах органических и минеральных красителей. Магний и его сплавы анодируют в хромовокислых или щелочных электролитах. В первом случае применяют раствор, содержащий двуххромовокислый натрий (100 г/л) и натрий фосфорнокислый однозамещенный (40 г/л), при плотности тока на аноде $1,5 \div 3 \text{ а/дм}^2$, т-ре 50—55° С и напряжении 5—6 в. В зависимости от состава сплава образуются пленки коричневого или черного цвета. Во втором случае используют раствор, содержащий 80—90 г/л едкого калия и 300 г/л фтористого калия, при плотности тока на аноде $3\text{—}4 \text{ а/дм}^2$, т-ре 45—50° С и напряжении 70—80 в. Медь и ее сплавы анодируют в щелочном растворе (15—20%-ный раствор едкого натра) при плотности тока на

аноде $0,5\text{—}10 \text{ а/дм}^2$ и т-ре, близкой к т-ре кипения раствора. А. цинка проводят в 2%-ном растворе едкого натра, получая пленку черного цвета. Для А. серебра применяют раствор состава: 25—30 г/л сернистого натрия, 15—20 г/л сернистокислого натрия, 3—4 г/л серной кислоты и 3—5 г/л ацетона. Т-ра, при к-рой протекает процесс, — $18 \div 25^\circ \text{С}$, плотность тока на аноде $0,05 \div 0,5 \text{ а/дм}^2$, напряжение 3—6 в. Серебро приобретает темно-серый, темно-синий или черный цвет. А. применяют в машиностроении для защиты изделий от коррозии металлов, в приборостроении для декоративной отделки и защиты приборов от мех. и хим. воздействия, в самолето- и ракетостроении, радиоэлектронике, для создания электроизоляционных материалов и др.

Лит.: Лаворко М. К. Оксидные покрытия металлов. М., 1963; Шрейдер А. В. Оксидирование алюминия и его сплавов. М., 1960; Федотьев Н. П. [и др.]. Прикладная электрохимия. Л., 1967; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974; Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии. Пер. с нем. Л., 1967.

Л. Н. Ягуловская.

Строение оксидной пленки, полученной анодированием на алюминии: а — плотный слой толщиной 0,01—0,1 мкм; б — рыхлый слой толщиной 4—5 мкм; 1 — электролит; 2 — окис алюминия (Al_2O_3); 3 — пленка гидратированной окиси алюминия ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$); 4 — капиллярные каналы.



АНОРТОЗИТ (франц. anorthose — *плагноклаз*, от греч. ἀνρθος — *непрямой, скошенный*) — изверженная, глубинная, лейкократовая горная порода основного состава, отличающаяся резким преобладанием плагноклаза (от андезина до анортита) над темноцветными минералами. Синоним: *плагноклазит*. Разновидности наз. по составу плагноклаза: андезит, лабрадорит, битовнитит. Дальнейшее подразделение А. осуществляют по темноцветному или второстепенному минералу и в зависимости от этого различают: гиперстеновые, диаллаговые, авгитовые, оливиновые и др. А., содержащие *корунд* (иногда до 60%), *роговую обманку* и *шпинель*, наз. *кыштымитами* и *плюмазитами*. Минер. состав (об.%): главные минералы — плагноклазы (85—95); второстепенные (5—15) — гиперстен, диаллаг, авгит, диопсид, бронзит, роговая обманка, оливин, корунд, ильменит, титаномагнетит, магнетит; реже — био-

тит, кварц, ортоклаз, шпинель, рутил, сульфиды железа и меди, цитозит, эпидот, хлорит, редко — апатит, циркон, гранат. Химический состав (%): SiO_2 — 47,0—55,0; TiO_2 — 0,2—0,4; Al_2O_3 — 26,0—29,0; Fe_2O_3 — 0,6—1,6; FeO — 1,4—3,8; MgO — 0,4—3,0; CaO — 9,0—16,0; Na_2O — 0,1—5,0; K_2O — 0,1—6,0; H_2O — 0,3—2,0. Структура аллотриоморфнозернистая, обычно грубо- или крупнозернистая, реже средне- или мелкозернистая. Текстура массивная, полосчатая. Отдельность параллелепипедальная, неправильно глыбовая, пластовая. Цвет белый, серый, темно-серый, почти черный, в зависимости от содержания тонких иголок ильменита в плагиоклазе. Плотность 2,64—2,92 г/см³, пористость до 1,5%, водопоглощение до 0,9%, предел прочности на сжатие (кгс/см²): в воздушно-сухом состоянии 750—2520, в водонасыщенном 1260—2520, после цикла замораживаний до 2230; модуль Юнга $8,41 \cdot 10^3$ кгс/мм², модуль сдвига $3,35 \cdot 10^3$ кгс/мм², объемный модуль упругости $5,87 \cdot 10^3$ кгс/мм², модуль жесткости $3,34 \cdot 10^3$ кгс/мм², коэфф. Пуассона 0,262, коэфф. теплопроводности (т-ра 20° С) 1,5—1,8 ккал/м · ч · град, скорости распространения упругих волн: продольных 6,82, поперечных 3,50 км/сек. А. характерен для докембрия.

Более молодые массивы единичны. Генетически и пространственно обычно связан с габбровыми, норитовыми и диоритовыми породами. Иногда ассоциирует со щелочными габброидами (эссекситами, шонкинитами и др.), чарнокитами и нефелиновыми сиенитами. Реже образует крупные массивы без видимой связи с др. породами. Используется в строительстве как прочный, красивый, хорошо полирующийся облицовочный камень. Особенно ценны лабрадориты, в к-рых крупные кристаллы плагиоклаза отличаются красивой игрой цветов (призаций) на одной из плоскостей спайности. Все разновидности А. используют как бутотщебеночный материал.

Лит.: Розенбуш Г. Описательная петрография. Пер. с нем. Л.—М.—Грозный — Новосибирск, 1934; Дэйли Р. О. Изверженные породы и глубины земли. Пер. с англ. Л.—М., 1936; Вильямс Х., Тернер Ф. Дж., Гилберт Ч. М. Петрография. Пер. с англ. М., 1957.

Н. К. Крамаренко.

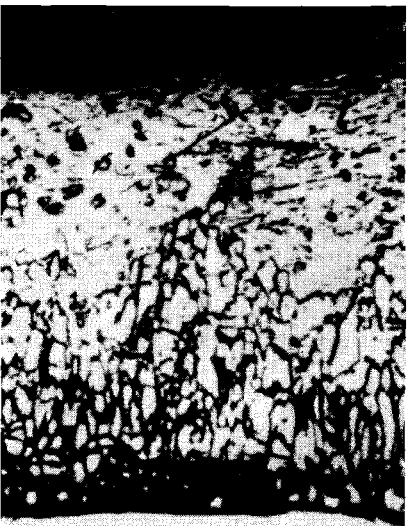
АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ (греч. *ἀντι*... — приставка со значением противодействия) — металлические и неметаллические покрытия, защищающие поверхность металлических изделий и сооружений от разрушающего действия коррозии металлов; вид защитных покрытий. Различают А. п. одно- и многослойные (комбинированные); металлические и неметаллические. К наиболее широко применяемым металлическим А. п. относятся покрытия из алюминия.

Свойства металлов антикоррозионных покрытий

Металл	Степень окисления	Нормальный электродный потенциал, в	ρ , г/см ³	$t_{пл}$, °С	Твердость по шкале Мооса
Алюминий	+3	—1,66	2,7	660	3
Хром	+3	—0,74			
	+6	+0,295	7,2	1800	9
Медь	+	+0,621			
	+2	+0,337	9,0	1083	3
Железо	+2	—0,440			
	+3	—0,04	7,9	1539	4,5
Никель	+2	—0,250	8,9	1455	4
Свинец	+2	—0,126	11,3	327	1,5
Олово	+2	—0,136	7,3	232	2
	+4	+0,05			
Цинк	+2	—0,76	7,1	419	2,5
Титан	+3	—1,23			
	+2	—1,63	4,5	1665	—

рома, меди, железа, никеля, свинца, олова, цинка, титана (табл.), редких и благородных металлов, сплавов медь — цинк, медь — олово, свинец — олово, цинк — алюминий, железо — хром, железо — никель — хром. Металлические А. п. получают *плакированием* с образованием *биметаллических материалов*, напр. сталь — алюминий, углеродистая сталь — нержавеющая сталь; погружением основного металла в расплавленный металл покрытия (при *лужении*, *свинцевании*, *цинковании* и др.); электролитическим способом (см. *Гальванические покрытия*); контактным способом без применения электр. тока — вытеснением металлов из растворов их солей (напр., нанесение олова на латунь и сталь, золота на серебро); хим. способом (*никелирование* восстановлением никелевых солей с помощью гипофосфита); осаждением порошка металла покрытия электрофорезом (см. *Электрофоретические покрытия*) или в электростатическом поле (осаждение алюминия и др.). Кроме того, А. п. создают распылением жидкого металла покрытия сжатым

Микроструктура антикоррозионного цинкового покрытия на стали, $\times 250$.



воздухом или инертным газом (см. *Газопламенные покрытия*, *Плазменные покрытия*); конденсацией металла покрытия из паровой фазы в вакууме (см. *Вакуумные покрытия*); *диффузией* защитного металла в поверхностный слой металла основы при нагреве в парах металла покрытия или его летучих соединений, а также в среде порошкообразных соединений (см. *Диффузионные покрытия*). При создании многослойного покрытия, напр., на стальных изделиях можно последовательно наносить хром и никель с дальнейшей термообработкой для получения диффузионных поверхностных слоев сплава железо — хром — никель; чтобы повысить *коррозионную стойкость* и *адгезию* металла покрытия к металлу основы, вначале наносят медь и никель, а затем хром. Защита стали от коррозии более эффективна, если сочетать цинковые покрытия с алюминиевыми, оловянные или хромовые покрытия на жести — с последовательно наносимыми пассивными хроматными покрытиями. Защитные св-ва А. п. зависят от их *пористости* и взаимодействия металла основы, металла покрытия и коррозионной среды. В зависимости от значения потенциалов металлов основы и покрытия, с учетом их анодной или катодной поляризации и коррозионной среды, выбирают анодный или катодный способ защиты поверхности. К **н е м е т а л л и ч е с к и м** А. п. относятся стекло, стекломали, фосфорные соединения, окислы алюминия, магния, титана; окисные пленки, образующиеся при *воронении* стали, *патинировании* меди, *анодировании* алюминия; окисные пассивные пленки на железе, хrome и др. металлах. Эти покрытия создают различными способами. Стеклэмали наносят на поверхность стальных, чугуновых, алюминиевых и др. изделий последовательно в два-три слоя с обжигом каждого из них при t -ре 800—900° С (см. *Эмалирование*). Окисные пассивные пленки наносят химическими или электрохимическими способами (см. *Пассивирование*) как дополнительную или осн. защиту

поверхности стали, алюминия, титана и др. А. п. должны быть равномерными, сплошными, плотными, с высокой адгезией к металлу основы, со значительной коррозионной стойкостью и при необходимости с повышенными прочностью, твердостью, износостойкостью, жаростойкостью, кислотостойкостью, щелочестойкостью. Св-ва же металла основы должны удовлетворять требованиям стандартов. Чтобы связь покрытий с металлом основы была достаточно прочной, поверхность его очищают от жира и грязи, подвергают мех. обработке (напр., полированию, шлифованию), хим. и электрохим. обработке, нагреву в вакууме или в среде инертных либо восстановительных газов, бомбардировке электронными и ионными потоками. Предварительная подготовка способствует возникновению хим. и межкатодных сил взаимодействия между металлами основы и покрытия. Прочность сцепления иногда повышается при дополнительной термообработке изделия с А. п., когда получает развитие переходной диффузионный слой в виде твердых растворов или интерметаллических соединений (рис.). Эти соединения, как правило, более хрупки, чем их составляющие, поэтому толщину таких промежуточных слоев сводят к возможному минимуму. Однако иногда для повышения коррозионной стойкости, если не требуется высокая пластичность, все покрытие соответствующей термообработкой переводят в интерметаллическую фазу (напр., после горячего цинкования). А. п. наносят на стационарных агрегатах или на линиях покрытия непрерывного действия, где последовательно готовят поверхность, создают на ней покрытия и обрабатывают их, а при необходимости осуществляют термическую и мех. обработку (горячие процессы цинкования и алюминирования стальных полос). Применение А. п. существенно увеличивает срок эксплуатации машин, изделий и сооружений, дает возможность экономить миллионы тонн дорогостоящих материа-

лов. См. также Коррозионностойкие материалы.

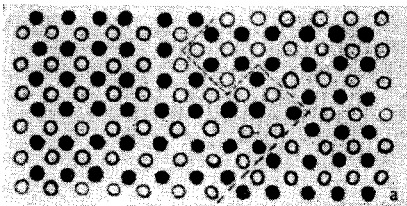
Лит.: То м а ш о в Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов. М., 1966; Л а й н е р В. И. Современная гальванотехника. М., 1967; В и т к и н А. И., Т е й н д л И. И. Металлические покрытия листов и полдосовой стали. М., 1971; Эмалирование металлических изделий. Л., 1972; Л а й н е р В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974.

А. И. Виткин.

АНТИМОНИДЫ (от лат. antimonium — сурьма и греч. εἶδος — вид, род) — соединения сурьмы с более электроположительными элементами. Первые систематические исследования А. начал в 1812 швед. химик и минералог Й. Я. Берцелиус. По характеру хим. связи и физико-хим. св-вам различают: А. щелочных и щелочноземельных металлов, бериллия, магния, металлов подгруппы меди и цинка (преим. с ионно-ковалентным типом связи); А. переходных металлов, в т. ч. лантаноидов и *актиноидов* (преим. с ковалентно-металлическим типом связи); А. алюминия, галлия, индия, таллия и олова (преим. с ковалентным типом связи). Кристаллизуются гл. обр. в структуре типа *сфалерита*, NaCl, NiAs, MnP и ZnSb. А. — твердые вещества, не растворимые в органических растворителях. А. щелочных металлов разлагаются водой, А. щелочноземельных металлов — разбавленными к-тами с выделением сурьмянистого водорода (стибиана), весьма ядовитого газа. А. всех др. металлов разлагаются только к-тами. А. с большим содержанием сурьмы более устойчивы в агрессивных средах, чем А. с меньшим ее содержанием. Для некоторых А. металлов характерны полупроводниковые св-ва (см. *Полупроводниковые материалы*). Получают А. сплавлением компонентов в инертной среде, при этом существенное влияние на св-ва оказывает скорость кристаллизации. Разработаны также методы получения А. в виде *монокристаллов*. Широкое применение нашли А. алюминия, галлия, индия, а также А. цинка, кадмия и кобальта. А. алюминия, отличающийся большой шириной запрещенной зоны (при т-ре 300 К она составляет 1,50 эв), используют в произ-ве солнечных батарей. А. галлия (ширина запрещенной зоны при т-ре 300 К равна

0,70 эв) применяют для изготовления туннельных диодов, триодов для ЭВМ, систем связи, устройств управления реакторами, сейсмографов и акселерометров, телефонной и акустической аппаратуры, радиолокаторов, микроволновых детекторов. А. индия (ширина запрещенной зоны при t -ре 300 К равна 0,165 эв) применяют для изготовления приемников инфракрасного излучения и приборов, в к-рых используется эффект Холла: преобразователей, измерителей магнитной восприимчивости, усилителей, измерителей мощности, аналоговых умножителей, модуляторов. Сплавы А. индия с никелем применяют в приборах, где используется магниторезистивный эффект: переключателях, регуляторах тока, а также в выпрямителях микроволнового диапазона. Некоторые А.— составная часть сурьмодержащих сплавов. Перспективен сложный А.— $ZnSnSb_2$, представляющий собой полупроводниковый материал с шириной запрещенной зоны 0,3 эв.

Антифазная структура: а — схема структуры (темные кружки — компонент А, светлые кружки — компонент В, штриховая линия — граница доменов упорядочения); б — микрофотография структуры, $\times 40\,000$.



Лит.: Вопросы металлургии и физики полупроводников. М., 1957; Основы металлургии, т. 5. М., 1968; Бок и Г. Б. [и др.]. Кристаллохимические, физико-химические и физические свойства полупроводниковых веществ. М., 1973; Wang C. Y. Antimony. London, 1952; Сурьма. М., 1954; Сурьма — висмут. М., 1973. В. Б. Черногоренко.

АНТИФАЗНАЯ СТРУКТУРА — структура упорядоченного сплава (монокристалла или поликристалла) с нарушенным чередованием атомов различного сорта по границам доменов упорядочения (антифазным границам). Впервые обнаружена экспериментально в 1958. В упорядоченном сплаве АВ (состоящем из компонентов А и В) с шахматным расположением атомов (рис.) граница доменов упорядочения проходит через пары одинаковых атомов, разделяя их. А. с. может возникнуть в результате перехода сплава (при охлаждении) из неупорядоченного состояния в упорядоченное. Если упорядочение начинается с образования небольших упорядоченных зародышей, то атомы того или иного элемента располагаются в одном из них в виде характерной подрешетки, которая может не совпадать с подрешеткой в соседних зародышах. По мере роста зародыши приходят в соприкосновение, образуя А. с. Домены упорядочения могут возникать также при прохождении дислокаций в упорядоченном сплаве. Размер образующихся доменов упорядочения составляет 20—2000 Å, увеличиваясь с повышением t -ры и уменьшением скорости охлаждения. А. с. влияет на движение дислокаций, магн. и др. св-ва упорядоченных сплавов.

Лит.: Марцинковский М. Дж. Теория и прямое наблюдение антифазных границ и дислокаций в сверхструктурах. В кн.: Электронная микроскопия и прочность кристаллов. Пер. с англ. М., 1968. В. В. Полотнюк.

АНТИФЕРРОМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, антиферромагнетики — материалы с упорядоченным антипараллельным расположением атомных магнитных моментов. Магн. структура собственно А. м. может рассматриваться как система вставленных друг в друга пространственных подрешеток, в узлах к-рых

находятся магн. атомы или ионы, причем элементарные магн. моменты одной подрешетки параллельны друг другу и антипараллельны элементарным магн. моментам другой подрешетки. Суммарный магн. момент одной подрешетки имеет конечную величину, но направлен противополо-

Точки Нееля антиферромагнитных материалов

Материал	Химический символ (формула)	Точка Нееля, К
Диспрозий	Dy	179
Эрбий	Er	85
Тербий	Tb	230
Тулий	Tm	60
Хром	Cr	310
Закись марганца	MnO	122
Закись никеля	NiO	520
Окись хрома	Cr ₂ O ₃	307
Сульфид железа	FeS	600
Фторид меди	CuF ₂	78
Карбонат железа	FeCO ₃	20—35

ложно суммарному магн. моменту другой подрешетки; поэтому в отсутствие внешнего магн. поля, *намагниченность* у А. м. не наблюдается (в отличие от ферромагнетиков). А. м. такого типа наз. *скомпенсированными*. Если суммарные магн. моменты обеих подрешеток не равны по абсол. величине, то у материала появляется спонтанная намагниченность, и такие материалы относят к *ферримагнитным материалам*. Антиферромагнитное упорядочение сохраняется при низких *t*-рах вплоть до *t*-ры, наз. *Нееля точкой*. В области существования антиферромагнетизма наблюдаются аномалии немагнитных физ. св-в А. м. (напр., *теплоемкости*, *коэфф. термического расширения*). Вблизи точки Нееля аномалии максимальны. *Магнитная восприимчивость* А. м. мала (не более 10^{-4} эс/э), растет с повышением *t*-ры вплоть до точки Нееля, выше к-рой А. м. ведут себя как *парамагнитные материалы* (рис.). К А. м. (табл.) относятся хим. элементы (напр., хром)

и различные хим. соединения (напр., окислы). Всего известно около 1000 материалов с антиферромагнитным упорядочением. Нескомпенсированным антиферромагнетизмом отличаются некоторые ферримагнитные материалы со структурой *шпинели*, *граната* и *перовскита*, находящие применение при их введении в состав магн. ферритов. А. м., помещенные в постоянное магн. поле, обладают антиферромагнитным резонансным поглощением электромагнитных волн миллиметрового и инфракрасного диапазонов.

Лит.: Белов К. П. [и др.]. Редкоземельные ферромагнетики и антиферромагнетики. М., 1965; Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971.

Т. Я. Гридасова.

АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы с низким коэффициентом трения. Кроме малых значений *коэфф. трения* (прим. 0,004—0,10 при трении со смазкой и 0,12—0,20 при трении без смазки) А. м. характеризуются *значительной износостойкостью*, хорошей *прирабатываемостью*, достаточными мех. прочностью и пластичностью, *коррозионной стойкостью*, отсутствием *схватывания*. А. м. мало изнашиваются сопряженные с ними поверхности. В зависимости от условий эксплуатации созданы А. м. со спец. св-вами, позволяющими использовать их со смазкой маслом или водой, без смазки — в воздушной среде и в вакууме, при высокой и низкой *t*-ре, в хим. агрессивной среде и т. п. К А. м. относятся литые материалы (*бabbиты*, *бронзы*, *латуни*); *спеченные материалы*, в т. ч. композиционные, на основе железа или бронзы; комбинированные (гл. обр. металло-

Зависимость магнитной восприимчивости антиферромагнитного материала (закиси марганца, в поле 5000 э) от температуры.

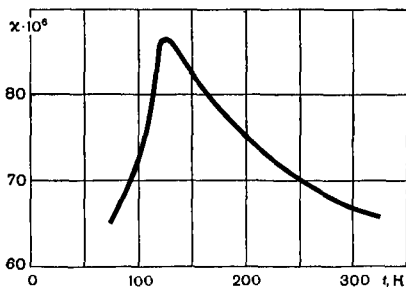


Таблица 1. Химический состав, пористость и микроструктура спеченных антифрикционных материалов на основе железа

Марка материала	Содержание, %			Пористость, %	Микроструктура
	железа	графита	сульфидов		
Ж	100	—	—	12—15	Ф + поры
ЖГр1	99	1	—	15—25	Ф + П + поры
ЖГр2	98	2	—	15—25	П + Ф + Гр + поры
ЖГр3	97	3	—	15—25	П + Гр + Ц + поры
ЖГр3К1	96	3	1	15—25	П + Гр + сульфиды + поры
ЖГр2Д2,5	95,5	2	2,5	15—20	П + Гр + Ц + поры
ЖГр1,5Д5	93,5	1,5	5	20—25	П + Гр + поры + медь
ЖГр2Д10	88,2	1,8	10	20—27	П + Гр + медь + поры
ЖГр1Цс4	95	1	4	15—20	П + Гр + сульфиды + поры
ЖГр3Цс4	93	3	4	15—20	П + Гр + сульфиды + поры
ЖГр (1—2) Дс3,5	94,9—95,5	1—2	3,5	15—25	П + Гр + сульфиды + поры
ЖГр3М15	82	3	15% Мо	15—20	П + Гр + поры
МГ30ЖН1К	Сплав железо — никель (1 : 1)	10	2,5	8—15	Твердый раствор железа + никель + Гр + сульфиды
Х23Н18КВ	85,5—88,0				
Х18Н15КВ	Основа — сталь марки Х23Н18		10—25	20—25	А + бориды + сульфиды + поры
	Основа — сталь марки Х18Н15		—	Сульфидирование и борирование в процессе спекания из засыпки	

Примечание: Ж — железо; Гр — графит; К — сера; Д — медь; Н — никель; Цс — сульфид цинка; Дс — сульфид меди; М — молибден; МГ — металлографит; Х — хром. Б — бор; Ф — феррит; П — перлит; Ц — цементит; А — аустенит.

Таблица 2. Свойства и параметры эксплуатации спеченных антифрикционных материалов на основе железа

Марка материала	σ_B , кгс/мм ² , не менее	σ_H , кгс/см ²	HB	Коэффициент трения со смазкой	Максимально допустимые параметры эксплуатации		
					t , °C	Давление P , кгс/см ²	Скорость скольжения v , м/сек
Ж	16	0,3—0,6	40—80	0,07—0,10	100—150	16—20	1
ЖГр1	16	0,3	50—100	0,06—0,08	100—180	26	5
ЖГр2	13	0,2	50—130	0,05—0,07	100—180	35—50	5
ЖГр3	10	0,15	50—120	0,06—0,09	100—180	40—100	3—5
ЖГр3К1	10	0,2	40—100	0,05—0,07	100—150	100	3
ЖГр2Д2,5	27	0,25	90—150	0,06—0,10	200	100	3

Продолжение табл. 2

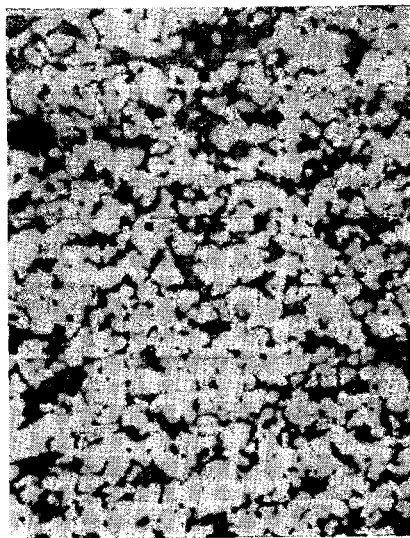
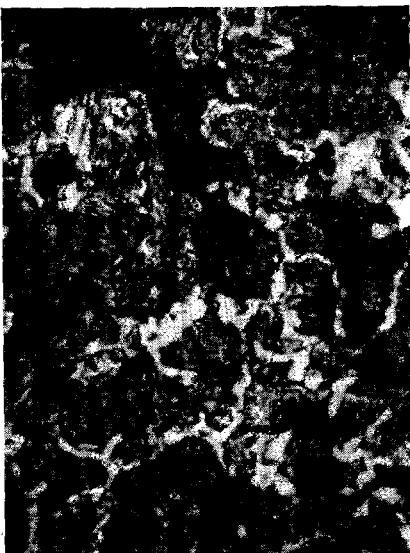
Марка материала	σ_B , кгс/мм ² , не менее	α_H , кгс/см ²	НВ	Коэффициент трения со смазкой	Максимально допустимые параметры эксплуатации		
					t , °C	Давление P , кгс/см ²	Скорость скольжения v , м/сек
ЖГр1,5Д5	25—30	—	56—75	0,013	130—200	100	4,5
ЖГр2Д10	25	—	40—50	0,03—0,04	100—120	200	1
ЖГр1Цс4	20	0,4	90—120	0,05	150	100	4,5
ЖГр3Цс4	13	0,2	60—100	0,01	150	100	30 при $P = 10$ кгс/см ²
ЖГр (1—2) Дс3,5	20—30	0,3	45—120	0,03—0,05	50—200	5—80	0,5—3,0
ЖГр3М15	—	—	100—180	—	250—400	50—80 при $v = 6$ м/сек	95 при $P = 1—3$ кгс/см ²
МГ30ЖН1К	6—7	—	—	0,03—0,27 (в воде)	150	180 при $v = 1,5$ м/сек	50 при $P = 1—3$ кгс/см ²
Х23Н18КБ	90—105	—	50—96	0,03—0,20 (в воде)	600	30—50 при $v = 1,5$ м/сек	50 при $P = 1—3$ кгс/см ²
Х18Н15КБ	на сжатие	—	НRC	—	—	—	—

Примечание: Ж — железо; Гр — графит; К — сера; Д — медь; Н — никель; М — молибден; МГ — металлографит; Х — хром; Б — бор.

фторопластовые) материалы; антифрикционные чугуны и антифрикционные стали (см. Медистая сталь, Графитизированная сталь). Литые А. м., изготавливаемые плавлением исходных компонентов с последующей разливкой, по типу структуры подразделяются на материалы, у которых в относительно мягкой основе расположены более твердые включения интерметаллических соединений (напр., *алюминиевая бронза, оловянистая бронза, оловянистый баббит*), и материалы, у которых в более прочной основе *твердого раствора* есть включения мягкой металлической структурной составляющей (напр., *свинцовистая бронза*, сплавы на основе алюминия, содержащие олово, свинец и кадмий). Основой литых алюминиевых сплавов служат системы алюминий — олово, алюминий — медь, алюминий — никель, алюминий — железо, алюминий — сурьма, к-рые дополнительно легируются свинцом, магнием или др. элементами. Лучшими св-вами отличаются сплавы, содержащие олово (6—30% Sn с небольшими добавками меди или

др. металлов). Мягкие включения в алюминиевых сплавах представляют собой почти чистые металлы, поскольку *растворимость* олова, свинца и кадмия в алюминии при комнатной т-ре незначительна, и при охлаждении расплава они выделяются в обособленные включения. Эти сплавы, используемые в автомобилестроении, мало изнашивают сопряженные с ними поверхности, мягкий металл включений служит твердой смазкой. Хорошими антифрикционными св-вами обладают кремниевосинцовистые латуни, применяемые вместо бронз для подшипников и втулок различных механизмов. Одной из характерных особенностей спеченных (металлокерамических) А. м., изготавливаемых методами порошковой металлургии, является наличие пор (8—27% объема), к-рые пропитываются жидкой смазкой. Металлическая основа таких материалов — железо, сталь, медь, бронза, никель. Кроме того, спеченные материалы содержат компоненты (*графит, сульфиды, селениды* и др.), служащие твердой смазкой. Эти и др. особенности в

значительной мере обуславливают эксплуатационные св-ва спеченных материалов. Износостойкость спеченных материалов иногда в 1,5—3 раза выше (при одинаковом значении коэфф. трения) износостойкости бронз, латуней и баббитов, во мн. случаях возможно их использование при более высоких давлениях и скоростях скольжения. Спеченные материалы можно эксплуатировать в



контакте с поверхностями из закаленной и незакаленной стали. Замена литых А. м. на основе цветных металлов спеченными материалами на железной основе дает экономию в 3—3,5 млн. руб. на каждой тысяче тонн изделий. Различают спеченные А. м. железографитовые (см. также *Железографит*), металлографитовые и бронзографитовые (см. также *Бронзографит*).

Спеченные материалы на основе железа (табл. 1, 2) имеют структуру перлита (иногда с ферритом) с включениями структурно-свободного графита, сульфидов и пор. Железографитовыми материалами марок ЖГрЗЦс4 и ЖГр (1—2) Дс3,5, содержащими сульфид цинка (рис. 1) или сульфид меди, заменяют антифрикционные сплавы на основе цветных металлов; используют их также для уплотнения быстро вращающихся деталей. Железографитовый материал марки ЖГрЗМ15 применяют при t -ре до 400°C . Если скорости скольжения высоки, его износостойкость почти в два раза превышает износостойкость материала марки ЖГрЗЦс4. Металлографитовый материал марки МГ30ЖН1К (на основе железоникелевого сплава), содержащий графит и сульфид цинка (рис. 2), более износостоек (в два-пять раз), чем текстолит, графитопласт, углеграфит (см. также *Углеграфитовые материалы*).

Предназначен для эксплуатации в воде (напр., в узлах трения опор мочечных и красильных ванн) и в некоторых несмазывающих жидкостях. Сульфидированные и сульфоборированные материалы на основе нержавеющих сталей марок Х23Н18 и Х18Н15, отличающиеся высокой коррозионной стойкостью, прочностью и жаропрочностью, можно использовать в хим. и металлургиче-

Рис. 1. Структура спеченного железографитового антифрикционного материала марки ЖГрЗЦс4, содержащего сульфид цинка, $\times 500$.

Рис. 2. Структура спеченного антифрикционного материала марки МГ30ЖН1К (на основе железоникелевого сплава), содержащего графит и сульфид цинка. $\times 100$.

ском машиностроении, в насосо- и газотурбостроении, при эксплуатации в воде, хим. агрессивных жидких и газовых средах, при повышенных т-рах. Спеченные материалы на основе бронз (табл. 3, 4) с включениями графита, легирующих добавок и пор отличаются повышенными антифрикционными св-вами, особенно при эксплуатации с ограниченной смазкой, и применяются в автомобиль- и сельхозмашиностроении. Их использование, по сравнению с литыми материалами, резко снижает расход материала и затраты труда. **Комбинированные** (металлофторопластовые) А. м. изготовляют прессованием и спеканием порошкового каркаса (иногда в виде тонкого слоя на стальной ленте) из *металлических порошков* с последующим за-

полнением пор фторопластом. Эти материалы используют при сухом трении, а также в воде и некоторых хим. агрессивных средах. Слои некоторых А. м. наносят припеканием порошков (бронзы), наплавкой (бронзы, баббиты), плазменным напылением (хромистые, углеродистые стали) или электролитическим осаждением (сплавы на основе никеля) на стальную основу (с последующей термообработкой), создавая т. о. антифрикционные *биметаллические материалы*. Биметаллические ленты используют в автомобильных подшипниках. Электролитическое осаждение и плазменное напыление применяют для изготовления поршневых колец, восстановления изношенных валов и др.

Лит.: Бочвар А. А. Металловедение. М., 1956; Шпагин А. И. Антифрикционные сплавы. М., 1956; Иванов-Скобляков Н. Н. Антифрикционные материалы для подшипников скольже-

Таблица 3. Химический состав, пористость и микроструктура спеченных антифрикционных материалов на основе бронз

Марка материала	Содержание, %			Пористость, %	Микроструктура
	меди	графита	легирующих добавок		
БрОГр10-2	88	2	10 Sn	15—20	Тв. р + Гр + поры
БрОГр8-4	88	4	8 Sn	15—20	То же
БрОГр9-3	88	3	9 Sn	15—20	»
БрО10Фт	90	—	10 Sn	30—35	Гранулы бронзы; поры, заполненные фторопластом
БрОЦб-6Фт	88	—	6 Sn, 6 Zn	30—35	То же

Примечания: 1. Гр — графит; О — олово; Фт — фторопласт; Тв. р — твердый раствор олова в меди. 2. Бронзы марок БрО10Фт и БрОЦб-6Фт пропитаны фторопластом.

Таблица 4. Свойства и параметры эксплуатации спеченных антифрикционных материалов на основе бронз

Марка материала	σ_B , кгс/мм ²	НВ	Коэффициент трения со смазкой	Максимально допустимые параметры эксплуатации		
				t, °C	Давление P, кгс/см ²	Скорость скольжения v, м/сек
БрОГр10-2	5	25—50	0,05	200	40	5—10
БрОГр8-4	3,5	25—50	0,05	200	40	5—10
БрОГр9-3	4	30—55	0,05	200	40	5—10
БрО10Фт	3,0	25—40	0,05	250	50	50
БрОЦб-6Фт	3,0	25—40	0,05	250	50	50

Примечания: 1. Гр — графит; О — олово; Фт — фторопласт. 2. Бронзы марок БрО10Фт и БрОЦб-6Фт пропитаны фторопластом.

Имя. М., 1956; Болховитинов В. Ф. Металловедение и термическая обработка. М., 1965; Федорченко И. М. [и др.]. Антифрикционные металлокерамические материалы на основе железа для тяжелых условий работы. В кн.: II Международная конференция по порошковой металлургии, т. 3. Прага, 1966; Берлин В. И., Мчедлов-Петросян О. П., Шубников А. К. Транспортное материаловедение. М., 1972. И. М. Федорченко

АНТИФРИКЦИОННЫЙ ЧУГУН — чугун с низким коэффициентом трения; вид антифрикционного мате-

риала. Кроме низкого коэфф. трения, А. ч. отличается высокой износостойкостью, изделия из него — миним. склонностью к схватыванию. Различают А. ч. серый — марок АЧС (с пластинчатым графитом, см. *Серый чугун*), ковкий — марок АЧК (с графитом в виде углерода отжига, см. *Ковкий чугун*) и высоко-

Таблица 1. Химический состав антифрикционных чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %									
	C	Mn	Si	P	S не более	Cr	Ni	Ti	Cu	Прочие
АЧС-1	3,2—3,6	0,6—1,2	1,3—2,0	0,15—0,30	0,12	0,2—0,4	—	—	1,5—2,0	—
АЧС-2	3,2—3,8	0,4—0,7	1,4—2,2	0,15—0,4	0,12	0,2—0,4	0,2—0,4	0,03—0,1	0,3—0,5	—
АЧС-3	3,2—3,8	0,4—0,7	1,7—2,6	0,15—0,4	0,12	0,3	0,3	0,03—0,1	0,3—0,5	—
АЧС-4	3,0—3,5	0,6—0,8	1,4—2,2	Не более 0,3	0,12—0,20	—	—	—	—	0,25—0,4Sb
АЧС-5	3,5—6,0	1,5—12,5	2,5—3,5	Не более 0,1	0,05	—	—	—	—	0,4—0,8Al 0,5—1,0Pb
АЧС-6	2,2—2,8	0,2—0,4	3,0—4,0	0,5—1,0	0,12	—	—	—	—	—
АЧВ-1	2,8—3,5	0,5—1,2	1,8—2,7	Не более 0,2	0,01	—	—	—	0,7	≥0,03Mg
АЧВ-2	2,8—3,5	0,5—0,8	2,2—2,7	Не более 0,2	0,01	—	—	—	—	≥0,03Mg
АЧК-1	2,3—3,0	0,6—1,2	0,5—1,0	Не более 0,2	0,05	—	—	—	1,0—1,5	—
АЧК-2	2,6—3,0	0,3—0,6	0,8—1,3	Не более 0,15	0,15	—	—	—	—	—

Таблица 2. Твердость и параметры эксплуатации антифрикционных чугунов

Марка чугуна	НВ	РВ, кгс × м/см ² ×	v, м/сек
АЧС-1	180—262	10	5
АЧС-2	180—229	18	0,2
АЧС-3	160—190	45	0,75
АЧС-4	180—229	До 400	До 5
АЧС-5	180—290	200	1
АЧС-6	100—120	90	До 4
АЧВ-1	210—260	80	8
АЧВ-2	167—197	25	15
АЧК-1	187—262	200	2
АЧК-2	167—197	120	1

Примечание: Р — удельное давление; v — скорость скольжения.

прочный — марок АЧВ (см. *Высокопрочный чугун с шаровидным графитом*) (табл. 1, 2). Характерной структурой А. ч. является перлитная (см. *Перлит* в металлведении) или перлитоферритная (см. *Феррит*) основа без свободного цементита, с небольшими включениями фосфидной эвтектики. Пористость чугуна способствует впитыванию масла, графит служит смазочным материалом. А. ч. выплавляют в вагранках, электр. печах или вагранках и электр. печах (дуплекс-процесс). Более высокая т-ра заливки повышает чистоту заготовки. Особенно важна высокая т-ра заливки при получении отливок из чугуна марок АЧВ для предупреждения усадочных раковин и осевой рыхлоты. Т-ра заливки чугуна марок АЧК составляет 1320—1470° С, чугуна марок АЧС — 1300—1360° С.

А. ч. применяют в машиностроительной, металлургической, горнорудной и др. отраслях пром-сти. Из А. ч. изготавливают подшипники, втулки топливных насосов, направляющие клапаны, поршневые автомобильные кольца. Подшипники из А. ч. предвременно прирабатывают до начала эксплуатации на холостом ходу или при небольших нагрузках, заменяют ими подшипники из дорогостоящих бронз и баббитов. При повышенных скоростях скольжения и высоких давлениях применяют чугуны марок АЧВ с плотной перлитной структурой и незначительными выделениями свободного графита.

В особо нагруженных узлах трения в паре с термически обработанным стальным валом используют чугуны марок АЧС с аустенитной структурой (см. *Аустенит*), легированные марганцем и алюминием. Марки, хим. состав и мех. св-ва А. ч. приведены в ГОСТе 1585—70.

Лит.: Аграев А. А. [и др.]. Получение антифрикционного чугуна в ковше. «Литейное производство», 1973, № 7; В о л о щ е н к о М. В., Г о н ч а р е н к о Н. И. Современное состояние производства высокопрочного чугуна и новые методы его получения. В кн.: Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. К., 1974. В. И. Тихонович.

АНТОФИЛЛИТ (от греч. *ἄνθος* — цветок и *φύλλον* — лист), $(\text{MgFe})_7 \times [\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$ — минерал класса *силикатов*, группы *амфиболов*. Разность минерала: а н т о ф и л л и т - а с б е с т (минерал волокнистой текстуры). Структура цепочечная, сингония ромбическая, вид симметрии ромбоидально-пиримидальный. Кристаллы встречаются редко; обычно А.-асбест образует сплошные волокнистые асбестовидные или шестоватые агрегаты. Хим. состав А.-асбеста (%): SiO_2 — 54,80—60,15; Al_2O_3 — 0,20—2,00; Fe_2O_3 — 0,80—7,32; FeO — 4,68—9,10; MgO — 27,11—32,46; Na_2O — 0,04—0,40; CaO — 0,16—1,48; примеси (десятичные доли процента) марганца, никеля, кобальта, хрома и др. Содержание атомов гидроксильной группы — от 2,16 до 2,80, изредка выпадает (до 3,30—3,84) или понижается. Спайность А.-асбеста (см. *Спайность минералов*) совершен-

ная по (110). Плотность 2,86—3,20 г/см³. Твердость 5,5—6,5. Цвет (см. *Цвет минералов*) агрегатов светло-коричневый, желтовато-серо-буроватый, голубовато-зеленовато-серый, кремовый вплоть до белого. Блеск (см. *Блеск минералов*) волокон шелковистый, иногда с перламутровым отливом. Длина волокон до 5—7 см. Мех. прочность А.-асбеста не уступает прочности лучших сортов хризотил-асбеста (см. *Асбест*). Под микроскопом А.-асбест имеет слабую зеленовато-бурю или бледно-зеленоватую окраску. Часто он бесцветен.

В более толстых пучках наблюдается слабовыраженный *плексроизм*: по N_g — желтоватый или бледно-зеленый, по N_m и N_p — буроватый. Показатели преломления: $n_g = 1,63—1,64$; $n_m = 1,62—1,63$; $n_p = 1,61—1,62$; $+2V = 92—100^\circ$. Отличается высокой *кислотостойкостью* и *щелочестойкостью*, тугоплавкий, $t_{пл} \sim 1300^\circ\text{C}$, а у магнезиальных членов — 1600—1800 $^\circ\text{C}$. Встречается исключительно в метасоматических породах. Месторождения генетически приурочены к сильно метаморфизованным ультраосновным породам. Асбестообразование связано с последующим низкотемпературным наложенным гидротермально-метасоматическим процессом. Ассоциирует с *талком*, *карбонатами*, *энстатитом*, *актинолитом*, *хлоритами*. А. синтезирован гидротермально при t -ре 500—700 $^\circ\text{C}$ и давлении воды ~ 1020 кгс/см². А.-асбест применяется в произ-ве изделий повышенной кислотостойкости: картона, бумаги, фильтров, прокладок и др. Частично его используют как заменитель хризотил-асбеста.

Лит.: Требования промышленности к качеству минерального сырья, в. 5. М., 1959; Федосеев А. Д., Григорьев Л. Ф., Макарова Т. А. Волокнистые силикаты. М.-Л., 1966; Соболева М. В. Минералогия волокнистых минералов группы амфиболов и серпентина. М., 1972. Н. И. Бучинская.

АПАТИТ (от греч. *ἀπάτη* — обман; А. часто принимали за др. минералы), $\text{Ca}_5\text{Ca}_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})[\text{PO}_4]_3$ — минерал класса *фосфатов*. Разновидности: *фтор-*, *гидроксил-*, *хлор-* и *карбонатапатиты*. Разности: *апатит марганцовистый*, *дернит* (с примесью нат-

рия), с а м и т (с примесью стронция и редкоземельных элементов) и др. Хим. состав (%): фторапатит — $\text{CaO} - 55,5$; $\text{P}_2\text{O}_5 - 42,3$; $\text{F} - 3,8$; хлорапатит — $\text{CaO} - 53,8$; $\text{P}_2\text{O}_5 - 41,0$; $\text{Cl} - 6,8$. В структуре минерала кальций изоморфно замещается марганцем (до 10% MnO), стронцием (до 11,5% SrO), церием (до 5,0% Ce_2O_3), иттрием (до 10,6% Y), ураном (до 0,02% U), торием (до 0,08% Th) и др. элементами. Структура островная, сингония гексагональная, вид симметрии гексагональнодипирамидальный. Встречается в виде кристаллических агрегатов, друз и отдельных кристаллов призматического, реже игольчатого, короткостолбчатого, таблитчатого габитуса. Широко распространены зернистые, плотные, тонкокристаллические и землистые образования. Спайность (см. *Спайность минералов*) несовершенная по (0001) и (10 $\bar{1}$ 0). Плотность 3,17—3,20 г/см³. Твердость 5. Хрупкий. Окрашен преим. в светлые оттенки зеленого цвета (см. *Цвет минералов*), но бывает также голубой, желтый, фиолетовый, бурый, серый, белый, иногда бесцветный. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный, на поверхности излома жирный. Излом (см. *Излом минералов*) неровный, иногда раковистый.

В шлифах А. обычно бесцветен, но иногда (в эффузивных породах) неравномерно окрашен в серый или буро-фиолетовый цвет. Показатели преломления: фторапатит — $n_0 = 1,633$; $n_e = 1,629$; хлорапатит — $n_0 = 1,667$; $n_e = 1,664$. Одноосный, отрицательный, иногда аномально двухосный (2V до 20°). В природе встречается преим. как аксессуарный минерал, присутствуя почти во всех магматических породах. Образует скопления крупных масс в нефелиновых сиенитах, карбонатитовых комплексах и осадочных породах (фосфориты), в некоторых высокотемпературных месторождениях железных руд, встречается в гидротермальных жилах, в жилах альпийского типа, в пегматитах. А. получают сплавлением $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ с CaF_2 или CaCl_2 , нагреванием $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ с NaCl и H_2O в запаянной трубке при t -ре 250° С. Используют для

произ-ва фосфорных удобрений, керамики, стекла, получения фосфора и его соединений, в черной и цветной металлургии.

Лит.: Ферсман А. Е. Апатит, его месторождения, геохимия, запасы и экономика. В кн.: Хибинские апатиты, т. 3. Л., 1931; Бушинский Г. И. Апатит, фосфорит, виванит. М., 1932; Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 5. Пер. с англ. М., 1966.

Е. П. Славко.

АРГИЛЛИТ (от греч. *ἀργίλος* — глина и *λίθος* — камень) — первично-осадочная твердая, камнеподобная, не размокающая в воде глинистая порода. Образуется в результате уплотнения, дегидратации и цементации глин и глинистых осадков при диагенезе и эпигенезе. Английский синоним: flintclay — кремневая глина. Среди А. по минер. составу выделяют полиминеральные и мономинеральные разновидности, по гранулометрическому составу — чистые и смешанные (алевролитовые, песчаные и др.). По минер. и хим. составу А. практически не отличаются от глин. Осн. массу породы составляют глинистые минералы группы гидрослюд, каолинита, монтмориллонита и смешанослойные образования. А. содержат примеси терригенных минералов — кварца, полевых шпатов, слюд, хлоритов и т. д. Отличаются высоким содержанием глинозема (20—50%), окиси кремния (50—80%) и незначительным содержанием щелочей. Текстура А. — слоистая и неслоистая. Среди неслоистой различают пятнистую, сетчатую, конгломератовидную и др. Структура — пелитовая, реже — алевропелитовая и псаммонелитовая. В зависимости от расположения и формы частиц выделяют А. ориентированные (микрослоистые, сланцеватые) и неориентированные (волокнистые, беспорядочнозернистые, сетчатые, брекчиевидные и др.). Окраска разнообразная, чаще — серая, темно-серая, бурая, коричневая. А. содержат более половины частиц размером $< 0,01$ мм. Породы, в которых содержание частиц размером $> 0,01$ мм несколько увеличивается, переходят

в алевритистые А., если же это увеличение превышает 50% — в алевриты. А. — непластичные или малопластичные (число пластичности менее 7) породы. Плотность 2,00—2,30 г/см³, пористость 5—20%, скорость продольных волн 0,8—3,7 км/сек. По происхождению могут быть первичными (диагенетическими) и вторичными (эпигенетическими). Характерны для складчатых областей и некоторых древних отложений платформ. А. получают при дегидратации глин. Применяют эту глинистую породу в произ-ве строительной керамики, огнеупорных материалов, цемента.

Лит.: Шведцов М. С. Петрография осадочных пород. М., 1958; Рухин Л. Б. Основы литологии. Л., 1969; Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М., 1974. Э. Я. Жовинский.

АРГОН (Argon; от греч. ἀργός — бездеятельный), ат — хим. элемент VIII группы периодической системы элементов; ат. н. 18, ат. м. 39,948. При обычных условиях — инертный газ без цвета, запаха и вкуса. Впервые выделен в 1894 англ. учеными Дж. Рэлеем и У. Рамзаем из атмосферного азота. Известны стабильные изотопы ³⁶Ar, ³⁸Ar и ⁴⁰Ar (их содержание в атмосфере соответственно 0,337; 0,063 и 99,600%), а также искусственные радиоактивные изотопы, напр. ³⁵Ar, ³⁷Ar и ³⁹Ar с периодами полураспада соответственно 1,88 сек, 34 дня и 265 лет. В природе А. встречается только в свободном виде. Объемная концентрация его в воздухе — 0,93%. Преобладание тяжелого изотопа ⁴⁰Ar связано с его образованием при радиоактивном распаде одного из самых распространенных элементов — калия (⁴⁰K). Осн. св-ва и термодинамические параметры А. — критическая точка: т-ра 150,85 К, давление 48,30 кгс/см², плотность 0,536 г/см³; тройная точка: т-ра 83,81 К, давление 516,86 мм рт. ст.

Норм. температура кипения 87,293 К, скрытая теплота плавления 280,8 кал/моль, теплота испарения (при норм. т-ре кипения) 1557,5 кал/моль. Газообразное состояние: плотность (т-ра 0°С, давление 760 мм рт. ст.) 0,00178403 г/см³, коэфф. теплопровод-

ности 3,889 · 10⁻⁵ кал/см · сек · град, теплоемкость (при пост. давлении) 4,98 кал/моль · град, растворимость в воде (см³/л) 52,4 (т-ра 0°С) и 18,1 (т-ра 80°С). Растворимость понижается при добавлении электролитов. Жидкое состояние: плотность 1,3998 г/см³ (вблизи тройной точки, т-ра 88 К). Теплопроводность в интервале т-р 86,8—147,0 К уменьшается от 28,9 · 10⁻⁵ до 13,0 · 10⁻⁵ кал/см · сек · град, теплоемкость (при пост. давлении) в интервале т-р 85—140 К изменяется от 0,2083 до 0,383 кал/г · град. Вязкость в интервале т-р 84—150 К изменяется от 2,83 · 10⁻⁴ до 0,48 · 10⁻³ мкнз. При испарении 1 л жидкости образуется 784,0 л газа. Твердое состояние (кристаллизуется в гранецентрированную кубическую решетку с периодом

$a = 5,318\text{Å}$ при т-ре 20 К): плотность в интервале т-р 15—48 К изменяется от 1,770 до 1,717 г/см³. Теплофизические св-ва твердого А. исследовались гл. обр. по кривой равновесия кристалл — пар. Теплоемкость (при пост. объеме) в этом же интервале т-р изменяется от 5,04 до 1,91 кал/моль · град и (при пост. давлении) от 5,90 до 1,94 кал/моль · град. Т-ра Дебая 93,3 К. Температурный коэфф. объемного расширения в интервале т-р 48—15 К уменьшается от 12,34 · 10⁻⁴ до 3,96 · 10⁻⁴ град⁻¹. Макс. прочность на разрыв твердого А. 160 г/мм² (т-ра 40 К); твердость (т-ра 20°С) 370 г/мм². Потенциал ионизации (эв): $V_1 = 15,69$; $V_2 = 27,60$; $V_3 = 40,70$. А. не образует валентных соединений с каким-либо др. элементом. Однако известны молекулярные (клатратные) соединения А., в которых его атом связан с др. атомами ван-дер-ваальсовыми силами. Наиболее полно изучен кристаллогидрат Ar · 6H₂O. В промышленности А. получают в процессе разделения воздуха на азот и кислород при глубоком охлаждении. От примесей азота А. очищают дополнительной ректификацией, а от примесей кислорода — хим. методами. А. может быть получен также как побочный продукт из продувочных газов колонны синтеза аммиака. А. используют в металлургических и хим. процессах, протекающих в инертной

среди, в частности при аргоно-дуговой сварке и резке алюминиевых и алюмомagneзиевых сплавов, термической обработке легко окисляющихся металлов, получении урана, плутония, бериллия, тория, циркония и др. металлов, для выращивания в его среде кристаллов полупроводниковых материалов. А. применяют также в светотехнике (в флюоресцентных лампах, лампах накаливания, разрядных трубках), электронике (напр., в тиратронах), в ядерной технике (в ионизационных счетчиках и камерах), в газовых лазерах, широко используемых в цветном телевидении, объемной фотографии и космической связи.

Лит.: Финкельштейн Д. Н. Инертные газы. М., 1961; Бердонос С. С. Инертные газы вчера и сегодня. М., 1966; Вассерман А. А., Рабинович В. А. Теплофизические свойства жидкого воздуха и его компонентов. М., 1968; Фастовский В. Г., Ровинский А. Е., Петровский Ю. В. Инертные газы. М., 1972; Argon, helium and the rare gases. The elements of the helium group, v. 1—2. New York — London, 1961.

А. В. Леонтьева.

АРМАТУРНАЯ СТАЛЬ (от лат. *armatura* — вооружение, снаряжение) — сталь, усиливающая (армирующая) железобетонные конструкции. Используется в строительстве с начала 20 в. В качестве арматурной

применяют сталь марок Ст.3, Ст.2, Ст.1 и Ст.0, а также более прочные стали — углеродистые и легированные. Наиболее распространена А. с. в виде стержней. По прочности стержневую А. с. подразделяют на семь классов (табл.). А. с. классов А-I — А-V поставляют горячекатаной, классов А_T-IV — А_T-VII — термически упрочненной. Структура А. с. классов А-I — А-III — феррит и перлит; классов А-IV — А-V — бейнит; классов А_T-IV — А_T-VII — троостит отпуска.

Пластичность А. с. проверяют испытаниями на загиб в холодном состоянии. Кроме стержней гладкого (А-I) и периодического (А-II — А-V) профилей, применяют арматурную проволоку из углеродистой стали (0,12—0,85% С) диаметром 3—8 мм, а также пряди, канаты, сварные и тканые сетки. А. с. изготовляют основным мартеновским и кислородно-конверторным способами. Прочность А. с. повышают волочением, вытяжкой, сплющиванием в холодном состоянии, электроупрочнением на автоматических закалочных-отпусковых агрегатах (нагрев до т-ры зака-

Свойства стержневых арматурных сталей

Класс стали	Диаметр стержня d, мм	σ_B , $\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²		δ , %	Испытание на загиб		Марка стали
					Угол, град	Диаметр оправки	
A-I	6—40	38	24	25	180	0,5d	Ст.3
A-II	10—90	50	30	19	180	3d	Ст.5, 18Г2С
A-III	6—40	60	40	14	90	3d	35ГС, 25Г2С
A-IV	10—32	90	60	6	45	5d	80С, 20ХГ2Ц
A-V	10—22	105	80	7	45	5d	23Х2Г2Т
A _T -IV	10—18	90	60	8	45	5d	Ст.5
A _T -IV	20—40	90	60	7	45	5d	Ст.5
A _T -V	10—14	100	80	7	45	5d	Ст.6, 35ГС
A _T -V	16—40	100	80	6	45	5d	Ст.6, 35ГС
A _T -VI	10—14	120	100	6	45	5d	40С
A _T -VI	16—32	120	100	5	45	5d	40С
A _T -VII	10—32	140	120	5	45	5d	45С

Примечание: Химический состав сталей приведен в ГОСТах и ТУ; для сталей А_T ГОСТом 10884—71 марки не оговорены.

ки, охлаждение в упругонапрянутом состоянии в воде и отпуск при $t = 350^\circ \text{C}$ также в напряженном состоянии), термоупрочнением с прокатного нагрева. Для улучшения св-в А. с. применяют *микролегирование* титаном. Так, у А. с. марки 10ГТ класса А-II, содержащей 0,02—0,03% Ti, ударная вязкость составляет 5 ксж/см² при $t = -60^\circ \text{C}$. Сталь марки 33ГТ класса А-III (0,03—0,06% Ti) характеризуется лучшей *свариваемостью* и *технологичностью*, чем сталь марки 35ГС. К тому же ее произ-во несколько дешевле, особенно при кислородно-конверторном способе. На А. с. разработаны ГОСТы: 5781—64, 5058—65, 10884—71, 6727—53, 7348—63, 8480—63; ЧМТУ: 1—84—67, 1—177—67; ТУ 14—1—532—73.

Лит.: Соколовский П. И. Арматурные стали. М., 1964; Гуляев А. П. [и др.]. Высокопрочные арматурные стали. М., 1966.

И. Е. Брайнин.

АРМИРОВАННОЕ СТЕКЛО — листовое стекло, усиленное (армированное) проволочной сеткой. В СССР произ-во А. с. началось после окончания Великой Отечественной войны: на Константиновском заводе «Автостекло», Гусевском стекольном заводе им. Ф. Э. Дзержинского. Состав наиболее распространенного А. с. (%): SiO_2 — 72,0; Na_2O — 13,8; CaO — 9,2; MgO — 3,0; Al_2O_3 — 1,0; Fe_2O_3 — 1,0. Оно менее прочно, чем обычное стекло, однако при разрушении от механического или теплового воздействия сетка удерживает осколки. Вырабатывается непрерывно прокаткой расплавленной стекломассы между вальцами с запрессовкой проволочной сетки (рис.), сматываемой с барабана. Сетку изготавливают из стальной термически обработанной проволоки диаметром 0,35—0,45 мм, располагая ее по всему листу на расстоянии не менее 1,5 мм от поверхности стекла. Ячейки сетки — квадратные, с размерами сторон 12,5 и 25 мм, или многогранные. А. с. выпускают в виде листов толщиной $5,5 \pm 7$ мм и размерами от 400×1500 до 1200×2000 мм. Светопропускание не ниже 65%. Применяется для остекления оконных и дверных переплетов, внутрен-

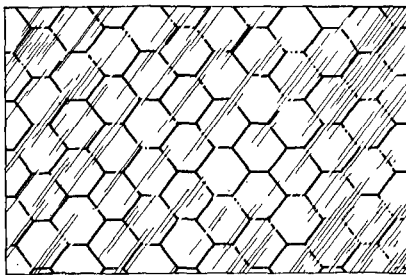
них перегородок, фонарей верхнего света, проемов противопожарных стен, отделки вестибюлей и лестничных клеток, а также в качестве кровельного материала. На А. с. разработан ГОСТ 7481—67.

Лит.: Гусев Н. М. Стекло и современное строительство. М., 1952; К и т а й-городский И. И. [и др.]. Технология стекла. М., 1967; Б о н д а р е в К. Т. Стекло в строительстве. К., 1969.

Е. П. Гармаш.

АРМИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, усиленные (армированные) другими, обычно более прочными, материалами или изделиями из них. Первым А. м. был *железобетон*, широко применяемый с конца 19 в. В нем *бетон* усилен стальной арматурой. Армирование материалов применяют для увеличения их *прочности*, *жаропрочности*, *ударной вязкости*, *циклической прочности*, *жесткости*, *долговечности* (см. *Долговечность материалов*). Армирование хрупких материалов приводит к повышению их *трещиностойкости* и *долговечности* при термоциклировании и тепловых ударах. Армирование позволяет направленно изменять не только прочностные св-ва, но и коэфф. *термического расширения*, *теплопроводность*, *теплоемкость*, *износостойкость*, магн. и др. свойства. А. м. отличаются *гетерогенной структурой*, часто с ярко выраженной *анизотропией св-в*. В каждом А. м. различают основу (матрицу) и *армирующий материал*. Наиболее широко (кроме железобетона) применяют А. м. на основе *керамических материалов*, металлов и стекла. В качестве армирующих материалов здесь используют непрерывные и прерывистые металлические и *веметаллические волокна*, *нитевид-*

Армированное стекло.



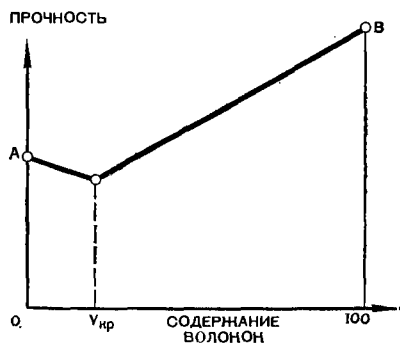
ные кристаллы, а также сетки различного плетения на основе волокон. Вид армирующего материала во многом определяет технологию получения А. м., их структуру и св-ва. При произ-ве керамических А. м. армирующими материалами служат неметаллические и металлические волокна. Наибольшее распространение получили материалы на основе окислов (напр., окиси алюминия, окиси хрома, окиси кремния, муллита, двуокиси циркония, двуокиси тория), армированных волокнами вольфрама, молибдена, стали и ниобия, а также нитевидными кристаллами окислов и карбидов (напр., окиси алюминия, карбида кремния, муллита). Армирование волокнами не всегда повышает предел прочности. Малое относительное удлинение керамического материала в момент разрыва в сочетании с высоким значением модуля Юнга часто оказывается недостаточным для того, чтобы передать волокнам напряжение, близкое к их пределу прочности. Однако в этом случае резко повышаются ударная вязкость, вибропрочность и термостойкость материала. При изготовлении керамических А. м. применяют горячее прессование, прессование с последующим спеканием и шликерное литье. Большое значение имеет геометрия волокон, поскольку на прочность их соединения с основой, кроме диффузионных и хим. процессов, влияет чисто мех. сцепление. Чтобы сцепление было прочнее, поверхность волокон делают шероховатой,

прибегая к ворсованию или травлению. Керамические А. м. применяют в качестве огнеупорных облицовочных и конструктивных материалов, эксплуатируемых в жестких температурных условиях. При произ-ве металлических А. м. армирующими материалами служат непрерывные и прерывистые волокна, различные сетки. Параллельная ориентация непрерывных и прерывистых волокон обеспечивает наиболее эффективное упрочнение в одном направлении, однако возникающая при этом анизотропия св-в может в значительной степени ограничить возможность использования такого материала. Армирование сетками позволяет получать в материале требуемую анизотропию свойств. Аддитивные св-ва металлических А. м. (напр., общую прочность вдоль направления армирования непрерывными параллельными волокнами, модуль Юнга, плотность, теплоемкость, электропроводность в направлении армирования) определяют из ур-ния

$$P_{ih} = \sum_{r=1}^n P_{ir} V_{ir}, \quad \sum_{r=1}^n V_{ir} = 1, \quad (1)$$

где P_{ih} — P_i -тое свойство материала (композиции); P_{ir} — то же св-во компонента r ; V_{ir} — объемное содержание этого компонента в материале; n — количество компонентов в материале. При исследовании прочности металлических А. м. на растяжение (рис.) критическое объемное содержание армирующего материала — $V_{кр}$ — определяется из условия равенства предела прочности А. м. согласно ур-нию (1) и предела прочности основы с учетом ее объемного содержания в композиции. Технология металлических А. м. развивается по пути создания жаропрочных материалов (никеля, хрома, кобальта и их сплавов, упрочненных тугоплавкими волокнами вольфрама, молибдена, окислов, карбидов), низкотемпературных конструкционных материалов (алюминия, магния, титана и их сплавов, упрочненных высокопрочными волокнами стали, бора,

Зависимость прочности армированного материала на растяжение от содержания непрерывных параллельных волокон: А — прочность основы; В — прочность волокна



карбида кремния, двуокиси кремния, бериллия и др. материалов; табл.) и материалов со спец. физ. свойствами. Металлические А. м. можно эксплуатировать при более высоких т-рах, повышенных длительной и циклической нагрузках. Для получения таких материалов чаще всего используют диффузионную

патки, силовые обложки, панели, кольца, трубы, противопожарные и непробиваемые перегородки и т. п. При произ-ве стек л я н н ы х А. м. листовое стекло армируют металлической сеткой (см. *Армированное стекло*).

Лит.: Композиционные материалы волокнистого строения. К., 1970; Алюминиевые и магниевые сплавы, армированные волокнами. М., 1974; Современные композиционные материалы. Пер. с англ. М., 1970; Монокристалльные волокна и армиро-

Свойства армированных материалов

Материал основы	Армирующий материал	Содержание армирующего материала, об. %	ρ , г/см ³	σ_B , кгс/мм ²	E , кгс/мм ²
Алюминий и его сплавы	Волокна легированной стали	40	4,85	165	12 000
	Волокна двуокиси кремния	50	2,46	147	6500
	Волокна бериллия	40	2,36	57	16 150
	Волокна бора	50	2,65	140	21 000
	Волокна карбида кремния	22	3,1	70	23 000
	Волокна стали марки ВНС-9	36,5	4,6	126,2	—
	Нитевидные кристаллы окиси алюминия	35	3,2	113	—
Магний и его сплавы	Волокна бора	25	2,0	94	13 000
	Волокна стали марки У8А	16	2,4	60	6400
Титан и его сплавы	Волокна бора	50	3,65	137	26 700
	Волокна молибдена	20	5,7	98	14 700
Никель	Волокна вольфрама	56	14,7	155	29 500
Медь	Волокна вольфрама	30	12,0	70	—
Серебро	Нитевидные кристаллы окиси алюминия	25	—	140	—
	Волокна легированной стали	42	—	40	—

сварку; горячее и динамическое горячее прессование пакетов, представляющих собой чередующиеся слои ориентированных армирующих материалов и фольги (материала основы); пропитывание пучка армирующих материалов материалом основы; горячее прессование; прессование с последующим спеканием смеси порошка материала основы и прерывистых волокон или нитевидных кристаллов. Реже применяют прокатку, *экструзию*, прессование взрывом, направленную *кристаллизацию*. Из металлических А. м. изготовляют различные емкости, сосуды давления, компрессорные и вентиляторные ло-

ванные ими материалы. Пер. с англ. М., 1973.

В. Х. Кадыров, Д. М. Карпинос.

АРМИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, усиливающие (армирующие) другие, обычно менее прочные, материалы или изделия из них. Материалы такого вида использовались еще в Древней Греции (железные прутья для армирования мраморных колонн). Классифицируются по геометрическому признаку: нульмерные (дисперсные частицы), одномерные (непрерывные волокна, нитевидные кристаллы, проволока), двухмерные (фольга, листы) и трехмерные (профили), а также по природе: металли-

еские и метаталлические (окисные, боридные, карбидные и нитридные) (табл.). Металлические А. м. (непрерывные волокна, проволока, фольга и др.) более технологичны при изготовлении армированных материалов, поддаются пластическому деформированию, в них хорошо сочетаются механические и теплофизические свойства. Использование таких А. м. дает возможность деформировать армированные материалы: подвергать их ковке, штампованию и др. операциям, что упрощает изготовление сложных деталей и узлов конструкций. Среди проволоочных А. м. бериллиевая проволока отличается значительно более высокой удельной прочностью, малой плотностью, высоким модулем упругости и относительно высокой т-рой плавления. Изготавливают ее чаще всего волочением литых прутков или прутков, полученных прессованием в вакууме порошковых заготовок. Бериллиевую проволоку (диаметром 100—500 мкм) или фольгу (20—100 мкм) используют при армировании алюминиевых и титановых основ, при создании композиций с комбинированными основами. Большая разница в модулях упругости бериллиевой, титановой и алюминиевой проволоки (соответственно 29 000, 11 500 и 7000 кгс/мм²), а также значительная разница в их плотности позволяет создавать композиционные материалы с высокой удельной жесткостью. Вольфрамовая и молибденовая проволока относятся к наиболее жаропрочным А. м. Длительная (100-часовая) прочность вольфрамовой проволоки марки ВА достигает 30—35 кгс/мм² при т-ре 1100°С, а проволоки из торированного вольфрама марки ВТ15 — 60—65 кгс/мм². У молибденового сплава марки ВМЗП длительная (100-часовая) прочность составляет 35 кгс/мм² при той же т-ре. Несмотря на высокую плотность вольфрама введение проволоки (50% вольфрамовых волокон) в никелевую композицию повышает удельную жаропрочность композиционного материала в 1,5—2 раза по сравнению с удельной прочностью неармированных никелевых жаропрочных сплавов. Проволоку из вольфрамовых и молибденовых сплавов получают методами волооче-

ния или гидроэкструзии (см. Экструзия). Стальную проволоку используют в качестве арматуры железобетонных конструкций, изготавливают из углеродистых сталей общего назначения с различным содержанием углерода (0,12—0,85%) и прочностью 60—90 кгс/мм². Для армирования композиционных материалов, гл. обр. на алюминиевой основе, применяют стальную высокопрочную, коррозионностойкую проволоку, напр., марки ВНС-9, с прочностью 350—400 кгс/мм², сохраняющую высокий уровень свойств при длительных нагревах до т-ры 400—500°С. Используя такую проволоку, получают композиционный материал с прочностью до 175 кгс/мм² при плотности 4,86 г/см³ с модулем упругости 10 500 кгс/мм². Неметаллические А. м. — борные и углеродные волокна, а также волокна карбида кремния, окиси алюминия и циркония об-

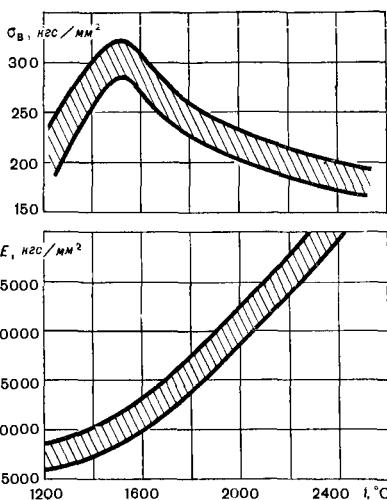
Свойства армирующих материалов

Материал	$t_{пл}, ^\circ C$	$\rho, г/см^3$	$\sigma_B, кгс/мм^2$	$E, кгс/мм^2$
Непрерывные волокна				
бора	2170	2,6	320	40 000
карбида кремния	2650	3,9	250	48 000
окиси алюминия	2050	3,2	260	45 000
углеродные (ВМН-6)	3650	1,7	270	31 000
Игольчатые кристаллы (максимальные значения)				
карбида бора	2450	2,52	1400	48 000
карбида кремния	2650	3,21	3700	58 000
нитрида алюминия	2400	3,3	1500	35 000
нитрида кремния	1900	3,18	1500	49 500
Проволока				
бериллиевая	1285	1,85	150	29 000
вольфрамовая	3400	19,2	420	41 000
молибденовая	2620	10,2	220	36 000
стальная	1400	7,74	320—400	20 000
титановая	1665	4,5	200	11 500

ладают *анизотропией* механических и физических свойств. В то же время они отличаются высокой прочностью, высоким модулем упругости и малой плотностью. С повышением температуры прочностные свойства этих волокон изменяются мало, их удлинение незначительно (0,3—0,8%). Борные волокна получают газофазным осаждением (см. *Газофазные покрытия*) бора из треххлористого бора при t -ре 1100° С на движущуюся вольфрамовую нить диаметром 10—12 $\mu\text{м}$. Диаметр волокон бора 100—150 $\mu\text{м}$, коэфф. вариации прочности у борных и углеродных волокон (мера ее относительного разброса, определяемая из отношения стандартного отклонения к средней прочности) 10—30%, коэфф. вариации модуля упругости 5—12%. Снижение коэфф. вариации повышает прочность композиционных материалов. Чтобы предотвратить взаимодействие борных волокон с металлической основой, на их поверхность наносят слой (2—4 $\mu\text{м}$) барьерного покрытия из карбида кремния или *нитрида бора*. Используют волокна бора в легких композиционных материалах, эксплуатируемых при t -ре до 450° С. Предел прочности и модуль упругости углеродных волокон в значительной мере зависят от температуры термической обработки (в частности, от температуры *графитизации*) (рис.). Углеразитовые волокна выпускают в виде нитей, лент и тканей (марок ВМН-4, ВМН-6 и ВЭН-280). Углеродные волокна и полуфабрикаты из них используют для создания высокопрочных и жаропрочных материалов с алюминиевой основой для эксплуатации при t -рах до 400° С. Волокна карбида кремния получают по такой же технологической схеме, как и борные волокна. Газофазное осаждение (из метилхлорсилана) на вольфрамовую основу диаметром 12 $\mu\text{м}$ осуществляют при t -ре 1100—1200° С. Волокна окиси алюминия получают из расплава окиси алюминия вытягиванием через молибденовый или вольфрамовый капилляр при t -ре плавления окиси (2050° С). Плотности волокон карбида кремния и окиси алюминия близ-

ки, а при равных значениях прочности и модуля упругости с борными и углеродными волокнами они не имеют преимуществ по удельным значениям прочности и жесткости. Перспективность применения волокон из окислов алюминия, циркония и др. объясняется их большей инертностью (в сравнении с проволокой) к металлической основе, а также возможностью эксплуатации при t -ре до 1300° С. Волокна карбида кремния, окислов алюминия, циркония и др. подобно борным и углеродным волокнам практически не деформируются, удлинение их невелико (менее 1%). Широкое применение в качестве А. м. получило *стеклянное волокно*, прочность которого достигает 300—500 $\text{кгс}/\text{мм}^2$. Перспективны нитевидные кристаллы бескислородных и кислородных тугоплавких соединений (напр., карбида кремния, окиси алюминия), прочность которых достигает 2000—3000 $\text{кгс}/\text{мм}^2$. А. м. — компоненты высокопрочных и жаропрочных композиционных материалов для самолетов, космических аппаратов, а также корпусов цистерн, баллонов и др. емкостей, находящихся под высоким давлением. См. также *Наполнители*.

Зависимость предела прочности и модуля упругости армирующих материалов (углеродных волокон на основе полиакрилонитрила) от температуры термообработки.



лит.: Композиционные материалы волокнистого строения. К., 1970; Современные композиционные материалы. Пер. с англ. М., 1970; Композиционные материалы в конструкции летательных аппаратов. Пер. с англ. М., 1975. К. И. Портной.

АРСЕНИДЫ (от лат. arsenicum — мышьяк и греч. εἶδος — вид, род) — соединения мышьяка с более электроположительными элементами. Первые А. получил арабский алхимик Гебер (Джабир). По характеру хим. связи и физико-хим. св-вам различают: А. щелочных и щелочноземельных металлов, бериллия, магния, металлов подгруппы меди и цинка (преим. с ионно-ковалентным типом связи); А. переходных металлов, в т. ч. лантаноидов и актиноидов (преим. с ковалентно-металлическим типом связи); А. элементов подгруппы бора, кремния, германия, олова и свинца (преим. с ковалентным типом связи). А. встречаются в виде минералов: моддерита CoAs , шпейсового кобальта CoAs_3 , скуттерудита CoAs_3 , никелина NiAs , леллингита FeAs_2 , домейкита Cu_3As и др. Кристаллизуются гл. обр. в структуре типа *сфалерита*, NaCl , NiAs и MnP . А. — твердые вещества, не растворимые в органических растворителях. А. щелочных металлов легко разлагаются водой, А. щелочноземельных металлов — разбавленными к-тами с выделением мышьяковистого водорода (арсина), весьма ядовитого газа. А. всех др. металлов разлагаются только к-тами. Наиболее кислотоустойчивы А. металлов VIII группы *периодической системы элементов*. Под действием окислителей А. металлов окисляются до солей мышьяковистой и мышьяковой к-т. Многие отличаются полупроводниковыми св-вами (см. *Полупроводниковые материалы*). Осн. метод получения А. — ампульный синтез из элементов. А. получают также взаимодействием металлов или окислов металлов с мышьяк содержащими соединениями (гл. обр. с мышьяковистым водородом AsH_3), термическим восстановлением арсенатов металлов углеродом. Разработаны методы выращивания монокристаллов А., а также их легирование различными примесями. Наибольшее применение нашли А. галлия и индия (ширина запрещенной зоны к-рых при т-ре 300 К равна соответственно 1,35 и 0,36 эв). А. галлия используют

в инжекционных лазерах, СВЧ-генераторах, фотопреобразователях, светоэмиссионных, туннельных и переключающих диодах, датчиках низких т-р, триодах, диодных модуляторах света. А. индия применяют в приборах, действие к-рых основано на гальваномагнитном эффекте, эффекте Холла (регистраторы магн. поля), магниторезистивном эффекте, в оптических фильтрах, лазерных диодах, терморегуляторах, транзисторах (см. также *Оптоэлектронные материалы*). Перспективны тройные А. — CdSnAs_2 , CdGeAs_2 , ZnSnAs_2 , ZnGeAs_2 , CdSiAs_2 , ZnSiAs_2 , представляющие собой полупроводниковые материалы.

Лит.: Кристаллические структуры арсенидов, сульфидов, арсеносульфидов и их аналогов. Новосибирск, 1964; Рцх и л а д з е В. Г. Мышьяк. М., 1969; Полупроводники $\text{A}^*\text{B}^*\text{C}_2^*$. М., 1974.

В. Б. Черногоренко.

АСБЕСТ (греч. ασβestos, букв. — неугасимый) — тонковолокнистые минералы класса *силикатов*, группы *серпентина* и *амфиболов*. Наибольшее значение имеют серпентиновые А. (95% всего используемого А.), меньшее — амфиболовые. Разновидности серпентиновых А.: х р и з о т и л - а с б е с т (народные названия «горная шерсть», «горный лен», «куделька») и п и к р о л и т («горная козя», «горная пробка»). Хризотил-А., $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ — минерал группы серпентина, водный силикат магния. Содержание воды — 13,04—14,80%; примеси — двух- и трехвалентное железо (до 3%), кальций, марганец, никель, алюминий, натрий, калий (доли процента, очень редко 1%). Спектроскопически определены сотые, реже десятые доли процента ванадия, меди и цинка. Структура слоистой-трубчатая (подобна структуре *каолинита*). Сингобная моноклинная. Характерны спутанноволокнистые и параллельноволокнистые агрегаты. Спайность (см. *Спайность минералов*) несовершенная по (110) под углом 130°. Плотность 2,50—2,65 г/см³. Твердость 2,0—3,0. Цвет (см. *Цвет минералов*) в куске зеленовато-желтый с золотистым отливом, в распушенном виде — снежно-белый. Блеск (см. *Блеск минералов*) шелко-

вистый. Показатели преломления: $n_g = 1,522-1,555$; $n_p = 1,508-1,543$; $2V = 30-35^\circ$. Волокна гибкие, отличаются высокой прочностью на разрыв ($285 \div 365 \text{ кгс/мм}^2$), значительной огнестойкостью ($t_{пл}$ около 1500°C), высокой сорбционной способностью и *набухаемостью*, плохой тепло- и электропроводностью, стойки к воздействию щелочей. При нагревании хризотил-А. теряет гидроксилы и переходит в *форстерит*. Образуется в богатых магнием ультраосновных магматических породах и генетически связан с их перидотитовой формацией. Локализуется преим. в серпентинизированных гипербазитах и приурочен к хризотилловым серпентинам. Хризотил-А. (выпускается восьми сортов) применяют в текстильной, цементной, бумажной, радиотехнической промышленности, в производстве электроизоляционных материалов, дорожных покрытий. Пикролит в природе встречается в незначительных количествах. Амфиболовые А. — минералы группы амфиболов. Среди них различают: магnezияльные и магнезиально-железистые (антофиллит-А., куммингтонит-А.), кальциевые (тремолит-актинолит-А.), щелочь-содержащие (рихтерит-А.), щелочные (крокидолит, родусит-А., магнезиоарфведсонит-А.). По хим. составу относятся к водным силикатам магния, кальция, двух- и трехвалентного железа, натрия и представляют собой один из сложных изоморфных (см. *Изоморфизм*) рядов. Изоморфные примеси: алюминий, калий, никель, марганец и др. Содержание воды — $1,5-5,0\%$. Для амфиболовых А. характерно ясно выраженное вертикальное удлинение и совершенная призматическая спайность под углом 124° . В шлифах — зеленые, бурые, желтые, синие или бесцветные. *Плеохроизм* обычно ясный, у железистых разновидностей более интенсивный. Двупреломление большинства разновидностей $0,020-0,025$. Отличаются высокой *кислотостойкостью* и *щелочестойкостью*. Наиболее стойкий — антофиллит-А., наименее стойкий —

актинолит-А. Вода выделяется в интервале $t-p$ $900-1000^\circ \text{C}$, при дальнейшем нагревании минерал спекается и плавится. Термические св-ва зависят в основном от содержания щелочей. С увеличением содержания $t-p$ а дегидратации повышается, $t-p$ а спекания понижается. Мех. прочность на разрыв: антофиллит-А. — 155 кгс/мм^2 , куммингтонит-А. — 308 , крокидолит — 334 , родусит — 170 , арфведсонит — 344 кгс/мм^2 . Образование амфиболовых А. связано с метасоматическими и гидротермальными процессами в магматических породах (антофиллит, актинолит, тремолит, рихтерит-А.) и с малоизмененными осадочными породами (родусит-А.). Синтез осуществляют в гидротермальных условиях из расплава, отвечающего по стехиометрическому составу синтезируемому минералу. Амфиболовые А. используют в произ-ве огнестойких и теплоизоляционных изделий, а также как *наполнители*.

Лит.: Меренков Б. Я. Генезис хризотил-асбеста. М., 1958; Федосеев А. Д., Григорьева Л. Ф., Макарова Т. А. Волокнистые силикаты. Природные и синтетические асбесты. М.—Л., 1966; Месторождения хризотил-асбеста СССР. М., 1967; Соболев Н. Д. Введение в асбестоведение. М., 1971; Соболева М. В. Минералогия волокнистых минералов группы амфиболов и серпентина. М., 1972.

Н. И. Бучинская.

АСБЕСТОВАЯ БУМАГА — бумага, состоящая преим. из *асбестового волокна*. Вяжущие компоненты — крахмальный клей или *растворимое стекло* ($1-3\%$), у бумаги некоторых сортов, кроме того, — синтетический латекс, целлюлоза. Иногда А. б. упрочняют хлопчатобумажным волокном. В зависимости от назначения различают А. б. электро-, тепло- и гидроизоляционную, диафрагменную, каландровую. Электроизоляционную А. б. (ГОСТ 9426—60) изготавливают из волокон хризотилового асбеста с добавлением связующего вещества. Выпускают ее в рулонах шириной 950 ± 5 и толщиной $0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,8$ и $1,0 \text{ мм}$ с пробным напряжением соответственно $1,2; 1,4; 1,7; 2,0; 2,3$ и $2,5 \text{ кв}$. Объемная масса не менее $0,5 \text{ г/см}^3$, влажность не более 3% , содержание магнитной окиси железа (Fe_3O_4) не более $3,4\%$. Уд. электросопротивление сухой бумаги: объемное — 10^8

ом · см, поверхностное — 10^7 ом; бумаги, пропитанной лаком: объемное — 10^{10} — 10^{11} ом · см, поверхностное — 10^9 — 10^{10} ом · см. Электроизоляционную А. б. применяют в электр. печах, бытовых приборах и др. Бумагу, пропитанную лаком, используют для изоляции витков электрических катушек, в произ-ве слоистых пластиков. Теплоизоляционную А. б. марки БТ (ГОСТ 2630—69) выпускают в виде листов 950×1000 мм (толщиной $1,50 \pm 0,15$ мм), а также в рулонах шириной 670 ± 10 ; 950 ± 10 и 1150 ± 10 и толщиной $0,50 \pm 0,050$; $0,65 \pm 0,065$ и $1,00 \pm 0,100$ мм. Влажность не более 3%. Разрывная длина: в продольном направлении — не менее 169—170, в поперечном — не менее 60—70 м. Коэфф. теплопроводности 0,135 ккал/м · ч · град. Применяется для изоляции горячих поверхностей с т-рой до 500°C . Бумагу марки 850 (ТУ 38—5—65—67), изготавливаемую из асбестового волокна с добавлением (до 20%) волокна органического, выпускают в рулонах шириной 850 ± 10 и толщиной $0,4 \pm 0,1$ мм. Влажность не более 4%. Разрывное усилие: в поперечном направлении — не менее 130, в продольном — 230 г/мм². Применяется в различных нагревательных устройствах. Гидроизоляционную А. б. (марки БГ-К или БГ-М, ГОСТ 2630—69) изготавливают из волокон хризотилового асбеста с добавлением целлюлозы и связующего вещества. Выпускают в рулонах шириной 950 и толщиной 0,65 мм. Гидроизоляционные свойства приобретает после пропитывания нефтяными окисленными битумами. Влажность не более 3%. Разрывная длина в продольном направлении не менее 500 м. Поглощение керосина не менее 72%. Применяется как изоляционный слой в подземных и др. сооружениях, противокоррозионное покрытие металлических трубопроводов, для защиты от влаги фундаментов конструкций и сооружений. Диафрагменную А. б. (марки БД, ГОСТ 2630—69) изготавливают из волокон хризотилового асбеста с добавлением связующего вещества. Выпускают в рулонах шириной 950 ± 5 и толщиной $0,65 \pm 0,04$ мм. Влажность не более 3%. Разрывная длина: в про-

должном направлении — не менее 380, в поперечном — не менее 180 м. Пропускная способность на 1 м² при т-ре 20°C и давлении 700 мм вод. ст. — 2000—3000 см³/мин. Применяется в качестве диафрагм при электролизе водных растворов хлористых солей щелочных металлов. Кalandровую А. б. (марки БК, ГОСТ 2630—69) изготавливают из смеси асбестового волокна, льнопеньковой и хлопчатобумажной полумассы. Выпускают в рулонах шириной 720, 900 и 1080 и толщиной $0,25 \pm 0,25$ мм. Разрывная длина в поперечном и продольном направлениях в среднем не менее 450 м. Предназначена для набивки валов каландров, применяемых в произ-ве конденсаторной бумаги.

Лит.: КитаЙцев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1970; Асбестовые технические изделия. М., 1973.

Е. Н. Денбовецкая.

АСБЕСТОВАЯ ТКАНЬ — ткань, состоящая целиком или преим. из асбестового волокна. Для улучшения теплоизоляционных, прочностных и некоторых др. св-в ткани к асбестовому волокну добавляют стеклянное волокно, металлические нити, лавсан и др. К теплоизоляционным относятся ткани марок АТ-1, АТ-2, АТ-3, АТ-4, АТ-7, АТ-8, АТ-9, АТ-11 и АСТ-1 (ГОСТ 6102—67), марок АТ-13 и АТ-14 (ТУ 38—11469—72). Ткань марок АТ-1—АТ-11 изготавливают из асбестового волокна (81,5—95,0%) с добавлением в качестве связующего хлопкового волокна. Коэфф. теплопроводности ее (в зависимости от ср. т-ры) $0,106 \pm 0,000159$ т_{ср} ккал/м · ч · град. Максимально допустимая т-ра эксплуатации 400—450°С. Ткань марки АСТ-1 состоит из асбестового (78,5%), хлопкового (13,5%) и стеклянного (8,0%) волокон. Максимально допустимая т-ра ее эксплуатации 500°С. Коэфф. теплопроводности 0,117 ккал/м · ч · град. Ткань марок АТ-13 и АТ-14 состоит из асбестового (81,5%) и хлопкового (18,5%) волокон. Максимально допустимая т-ра ее эксплуатации 400°С. В высокопрочных асбобластках используют ткань марок АЛТ-1, АЛТ-2, АТ-2 (ГОСТ 6102—67), АКТ (ТУ М—01—69),

АТ-12 (ТУ 38—11466—72) и др. В составе ткани марки АЛТ-1 — 80% асбестового волокна и 20% лавсана, марки АЛТ-2 — 50% асбестового волокна и 50% лавсана. Ткань марки АКТ (четыре видов) представляет собой полотно из асбокремнеземного волокна.

АТ-6, состоящую из асбестового (95%) и хлопкового (5%) волокон. Лит.: Поляков А. С. Прядение и ткачество асбестового волокна. М., 1971; Асбестовые технические изделия. М., 1973. Е. Н. Дебнивецкая.

АСБЕСТОВОЕ ВОЛОКНО — волокно, состоящее целиком или преим. из хризотилового асбеста. Из А. в. издавна изготовляли (Индия, Китай, Греция, Рим) предметы домашнего обихода; в России его начали

Технические показатели асбестовой ткани марок АКТ

Показатель	АКТ-1	АКТ-2	АКТ-3	АКТ-4
Содержание асбестового волокна, %, не менее	69,4	56,7	40,6	19,6
Содержание хлопкового волокна, %, не более	12,7	10,4	7,4	5,4
Содержание кремнеземного волокна, %	17,9	32,9	52,0	75,0
Разрывная нагрузка полоски 50×100 мм				
по основе, кгс	100,0	80,0	125,0	130,0
по утку, кгс	54,0	45,0	63,0	80,0
Потери в массе при прокаливании, %, не более	25,0	23,0	19,0	18,0
Влажность, %, не более	3,0	3,0	3,0	3,0

Ткань марки АТ-12 изготовляют из асбестового волокна, скрученного с латунной проволокой. Максимально допустимая т-ра эксплуатации ткани 400° С. Для жарозащитной одежды применяется ткань марок АЛТ-1 (ГОСТ 6102—67), АЛТ-3С (ТУЗ—5—70) и АСТ-1Ж. Ткань марки АЛТ-3С состоит из асбестового волокна (76,5%), лавсана (не более 20%) и стеклянного волокна (не менее 3,5%); ткань марки АСТ-1Ж — из асбестового (79,6%), хлопкового (15,8%) и стеклянного (не менее 4,6%) волокон. Ткань марок АТ-2, АТ-3 и АЛТ-4 (ТУ 38—11 455—72), состоящая из асбестового волокна (94%) и лавсана (не менее 6%), идет на изготовление прорезиненных тканей, асбоцементных материалов. Для фрикционных изделий, различных прокладок, манжет и т. п. используют ткань марок АТ-3 и АТ-5 (ГОСТ 6102—67), состоящую из асбестового (81,5%) и хлопкового (18,5%) волокон. Коэфф. теплопроводности ее (в зависимости от ср. т-ры) $0,106 + 0,000159 t_{ср}$ ккал/м · ч · град. В качестве диафрагм при электролизе воды применяют ткань марки

применять (конец 19 в.) для технических целей, в частности для теплоизоляции. Различают фильтровальное, трепаное и чесаное А. в. Фильтровальное А. в. (изготовление согласно ТУ 38—1149—70) — смесь волокон хризотилового асбеста 4-го сорта с волокнами сульфитной беленой целлюлозы. Влажность его не более 8%. Волокно марки ЯК-1 применяют для фильтрации маловязких жидкостей (напр., спирта); марки ЯК-2 — для очистки вязких жидкостей (напр., густых ликеров); марки ЯК-3 — для фильтрации жидкостей ср. вязкости (напр., сиропов). Трепаное А. в. (изготовление в соответствии с ТУ 38—5—147—69) представляет собой разрыхленный хризотилловый асбест 3—5-го сортов с жесткой, полужесткой или мягкой текстурой и ср. длиной волокна соответственно 9; 5 и 2,5 мм. Влажность его не более 3%. Применяется в производстве прессованных фрикционных материалов, как изоляционный материал. Чесаное А. в. (изготовление согласно ТУ 38—11438—71) представляет собой разрыхленный и расче-

санный хризотилловый асбест 1—3-го сортов с жесткой текстурой; отличается от трепаного большей длиной волокон и степенью расщепления. Влажность не более 3%. Чесаное волокно — теплостойкий армирующий наполнитель в произве- пластмасс. Помимо использования в чистом виде, А. в. широко применяют как сырье в произ-ве асбесто- вой бумаги, асбестовой ткани и т. д.

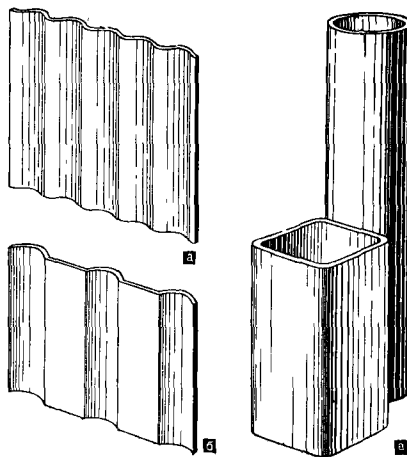
Лит.: Требования промышленности к качеству минерального сырья, в. 5. Асбест. М., 1959; Китайцев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1970; Поляков А. С. Прядение и качество асбестового волокна. М., 1971; Асбестовые технические изделия. М., 1973.

Е. Н. Денбовецкая.

АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ — строительные материалы, состоящие из затвердевшего пор- тландцементного камня, армирован- ного волокнами асбеста. Иногда в А. м. вводят добавки (напр., тонко- молотый кварцевый песок), чтобы сэкономить портландцемент и ускорить процесс произ-ва. Наряду с асбестом могут использоваться дру- гие армирующие волокна, напр. цел- люлозные, повышающие ударную прочность материала. Произ-во А. м. возникло в конце 19 в. в Австрии; в России первый завод, где изготов- ляли кровельные материалы такого типа (шифер), сооружен в 1908 под Брянском. К наиболее распростра-

ненным А. м. относятся листы (вол- нистые и плоские), трубы и соеди- нительные муфты. Волнистые листы изготовляют различного профиля и размеров (табл.): листы ВО (волни- стые обыкновенные), УВ (унифици- рованного профиля), ВУ (усиленного профиля), СВ-40 (средневолнистого профиля), СЕ (среднеевропейского профиля), листы с профилем пери- одического сечения. Они могут быть окрашены в различные цвета. ПЛОС- кие листы изготовляют прессован- ными и непрессованными размером от 700×900 до 1500×3600 мм, толщиной 4—10 мм. У прессован- ных облицовочных листов предел прочности на изгиб не менее 250 кгс/см^2 , объемная масса не менее $1,75 \text{ г/см}^3$, удельная ударная вяз- кость не менее $2,0 \text{ кгс} \cdot \text{см/см}^2$, у не- прессованных соответственно не ме- нее 160; 1,60 и 1,50. Пром-сть выпус- кает напорные асбестоцементные тру- бы на рабочее давление 6; 9 и 12 кгс/см^2 (ВТ-6, ВТ-9 и ВТ-12) диа- метром от 100 до 500 мм, длиной 3; 4 и 6 м и безнапорные трубы в основ- ном диаметром 100—140 мм и длиной 3—4 м. Напорные трубы должны выдерживать гидравлическое испы- тание двойным давлением и иметь в зависимости от диаметра трех- четырехкратный запас прочности. А. м. отличаются долговечностью (см. Долговечность материалов), ще- лочестойкостью, морозостойкостью, малой водопроницаемостью, пони- женными электропроводностью и теплопроводностью. Изделия из А. м. сравнительно легко поддаются мех. обработке, они значительно легче металла, бетона и железобетона. Не- достатки А. м.: невысокая ударная прочность и склонность к короблению. Технологический процесс получения А. м. состоит из след. основных опе- раций: обминание асбеста на бегу- нах, а затем распушивание его в гол- лендерах или гидропушителях до получения возможно более тонких волокон; тщательное смешивание в трубосмесителях или тех же гол- лендерах асбестовых волокон с пор- тландцементом (в водной среде); раз- жижение образовавшейся однород- ной асбестоцементной массы до

Асбестоцементные материалы: а — волни- стый лист; б — полуволнистый лист; в — вентиляционные короба.



низкоконцентрированной суспензии; формирование из жидкой асбестоцементной смеси (на листо- или трубоформовочных машинах) листов и труб. Формование состоит из процесса образования тонкого слоя асбестоцемента на сетчатом цилиндре, его обезвоживания и уплотнения в вакуумной и прессовых частях машины. При изготовлении волнистых листов получают листовую заготовку (полуфабрикат), к-рую в пластичном состоянии подвергают профилированию. Сформованные листы и трубы проходят тепловую обработку в пропарочных камерах. Прессованные листы после формования подвергают дополнительному уплотнению на гидравлических прессах при давлении 250—300 кгс/см². Асбестоцементные трубы после твердения в камерах и водных бассейнах подвергают токарной обработке. Для производства листовых А. м. используют асбест 5—6-го сортов, для произ-ва труб — асбест 3—5-го сортов, портландцемент марок 400—500 или портландцемент с добавкой 30—40% тонкомолотого кварцевого песка. Состав асбестоцементной массы: для листовых материалов — 13—15% асбеста и 87—85% портландцемента, для труб — соответственно 15—17 и 85—83%. Из А. м. изготавливают также электроизоляционные доски, вентиляционные короба, утепленные кон-

структивные плиты изделия спец. назначения (оболочки для транспортных галерей и летних спальных павильонов, полуцилиндры для защиты теплоизоляции на теплопроводах и пр.). Прочностные св-ва А. м. могут быть улучшены дополнительным прессованием или прокаткой. Декоративные св-ва улучшают покраской или нанесением пленочных покрытий. А. м. применяются в качестве кровельных и стеновых ограждающих покрытий в жилых, пром. и сельскохозяйственных сооружениях. Из плоских листов изготавливают утепленные конструкции для кровель и степ. Напорные трубы используют взамен металлических для водо-, нефте- и газопроводов; безнапорные — для самотечных трубопроводов и кабельной канализации. Применение А. м. вместо металла, бетона и железобетона облегчает массу конструкций, позволяет сэкономить сталь и чугун, снижает стоимостные требования к А. м. изложены в ГОСТах 378—60, 16233—70, 8839—72, 539—73, 8423—57, 929—59 и 18124—72; методы испытания А. м. — в ГОСТах 8747—72 и 11310—74.

Лит.: Беркович Т. М. [и др.]. Производство асбестоцементных изделий. М., 1962; Блох Г. С., Литвинов А. Н. Асбестоцементные материалы и конструкции и их эксплуатационные качества. М., 1964; Соколов П. Н. Технология асбестоцементных изделий. М., 1968.

Э. А. Валоков.

Характеристика волнистых асбестоцементных материалов

Материал	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Шаг волны, мм	Высота волны, мм	Количество волн	Предел прочности на изгиб, кгс/см ² , не менее	Объемная масса, г/см ³ , не менее
Листы ВО	1200	686	5,5	115	28	6	160	1,60
Листы УВ-6	1750	1125	6,0	200	54	5	180	1,70
Листы УВ-7,5	1750	1125	7,5	200	54	5	200	1,75
Листы ВУ	2800	994	8,0	167	50	6	190	1,50
Листы ВУ	2500	994	8,0	167	50	6	190	1,50
Листы СВ-40	1750	1130	5,8	150	40	7	175	1,60
Листы СВ-40	2500	1130	5,8	150	40	7	175	1,60
Листы СЕ	2500	1150	6,0	177	51	6	200	1,65
Листы СЕ	2500	920	6,0	177	51	5	200	1,65
Листы с профилем периодического сечения	2500	1150	7,6/6	150	54	7	160	1,55
	2500	1154	7,5/6	100	32	11	160	1,55

АСТАТИТ (Astatium; от греч. *ἄστατος* — неустойчивый), астатин, At — радиоактивный хим. элемент VII группы периодической системы элементов; ат. н. 85. Стабильных изотопов у А. нет. Все известные изотопы (22) — альфа-радиоактивны, наиболее долгоживущий из них — ^{210}At (период полураспада 8,3 ч). В 1940 амер. исследователи Э. Сегре, Т. Корсон и У. Мак-Кензи получили на циклотроне в Беркли (США) первый изотоп ^{211}At , бомбардируя висмут альфа-частицами. В земной коре А. содержится в ничтожно малых количествах. Хим. свойства из-за малой доступности А. и короткого периода его полураспада изучены мало. По сравнению с др. элементами подгруппы галогенов у А. наиболее четко выражены металлические свойства: он осаждается при электролизе на катоде, отличается низкой упругостью паров (в отличие от йода не отгоняется при кипячении азотнокислых растворов), образует устойчивые соли, в том числе соли галогеноводородных к-т, к-рые формально относятся к типу межгаллоидных соединений (AtCl , AtBr , AtJ). Известны соединения со степенями окисления $-1, 0, +1, +3$ и $+5$. Соединения со степенью окисления -1 являются сильными восстановителями, со степенью окисления $+5$ — сильными окислителями. Последние представляют собой соли кислоты HAtO_3 . А. осаждают сероводородом; образующийся при этом осадок (предположительного состава

At_2S_3) растворяется в сернистом аммонии. С йодом А. сближают относительно хорошая растворимость в некоторых органических растворителях, накопление в щитовидной железе при попадании в организм. В весо-мых количествах А. не выделен. Лит.: Мэддок А. Д. Астатин. «Успехи химии», 1960, № 11; Некрасов Б. В. Основы общей химии, т. 1. М., 1973; Гайсиский М., Адлов Ж. Радиохимический словарь элементов. Пер. с англ. М., 1968.

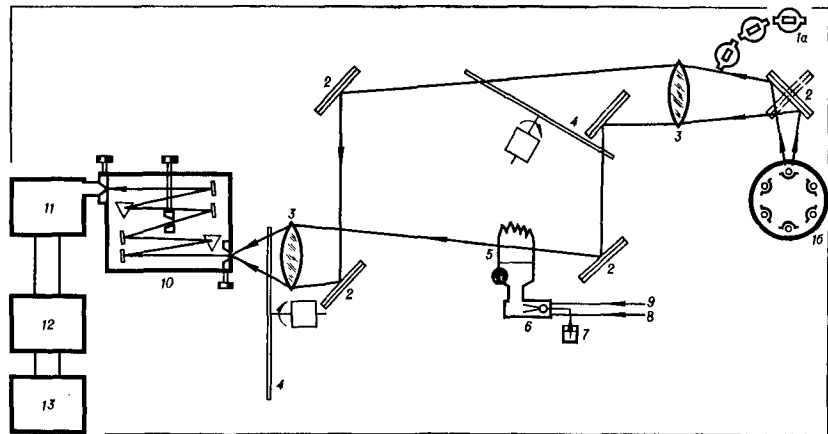
Ю. Я. Филалов.

АТОМНО-АБСОРБЦИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ — анализ состава материала, основанный на измерении поглощения (абсорбции) света атомами исследуемых элементов; один из методов спектрального анализа. В современном виде схему А.-а. с. а. предложил в 1955 австралийский ученый А. Уолш. Прохождение света сквозь поглощающую среду характеризуется ур-

$$J = J_0 e^{-k_v l},$$

где J и J_0 — интенсивность прошедшего и падающего света; e — осно-

Схема спектрометра для атомно-абсорбционного спектрального анализа: 1а — источник света (лампы полого катода); 1б — источник света (высокочастотные лампы); 2 — зеркало; 3 — линза; 4 — obturator; 5 — горелка; 6 — распылитель; 7 — исследуемый раствор; 8 — воздух; 9 — горючий газ; 10 — монохроматор; 11 — блок фотоумножителей; 12 — усилитель; 13 — блок регистрации.

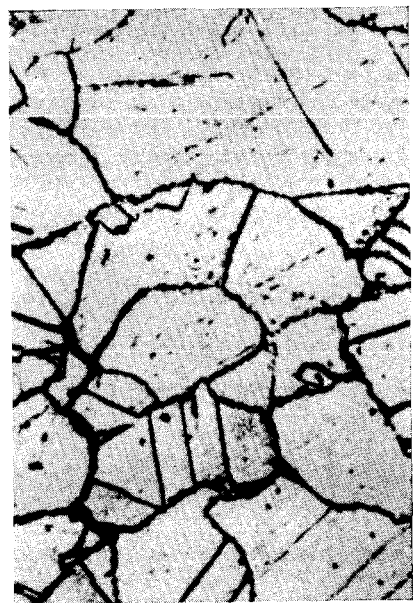


вание натуральных логарифмов; k_v — коэфф. поглощения света, зависящий от его частоты; l — толщина поглощающего слоя. Поглощение света зависит, помимо толщины поглощающего слоя и др. величин, от концентрации атомов исследуемых элементов в поглощающем слое, что и положено в основу анализа. Методика А.-а. с. а. заключается в следующем. Пробу анализируемого материала растворяют (обычно с образованием солей), а раствор в виде аэрозоля подают в пламя горелки. Под действием пламени молекулы солей диссоциируют (распадаются) на атомы, к-рые могут поглощать свет. Затем через пламя горелки направляют пучок света, в спектре к-рого есть также необходимые для анализа (соответствующие тому или иному элементу) резонансные спектральные линии. Из общего излучения, прошедшего через пламя, резонансные линии выделяют монохроматором, их интенсивность фиксируют блоком регистрации (рис.). По величине *оптической плотности* паров материала в пламени определяют его концентрацию в растворе. Возможен А.-а. с. а. материалов и непосредственным испарением, без предварительного растворения. Источниками света при А.-а. с. а. служат лампы полого катода, питаемые постоянным или переменным (в том числе высокой частоты) током, спектральные парометаллические лампы. Используются также импульсные лампы и лампы накаливания. Для экспресс-анализа (600 анализов в час) применяют многоэлементные лампы или системы сопряжения нескольких ламп. Облако паров анализируемого материала можно также создавать кратковременным импульсным испарением пробы, используя импульсные лампы или лазерные испарители, либо непрерывным испарением новых порций пробы в спец. печах, с помощью разряда в полой катод и др. Увеличение толщины поглощающего слоя достигается применением многошелевых горелок, трубок-адаптеров, многократным пропусканием света через пламя. Чувствительность А.-а. с. а. — 10^{-2} —

$10^{-7}\%$. А.-а. с. а. позволяет определять в материалах содержание более 70 элементов.

Лит.: Львов Б. В. Атомно-абсорбционный анализ. М., 1966; Полуктов Н. С. Методы анализа по фотометрии пламени. М., 1967. О. П. Рябушко. **АУСТЕНИТ** [по имени англ. ученого У. Робертса-Остена (W. Roberts-Austen)] — структурная составляющая *железоуглеродистых сплавов*, твердый раствор углерода и легирующих элементов в гамма-железе. Макс. содержание углерода в А. — 2,03%. В углеродистых сплавах А. устойчив при т-ре выше 723°С (см. *Диаграмма состояния железо — углерод*), когда двухфазная феррит-токарбидная смесь превращается в однородный твердый раствор. На образование А. большое влияние оказывают исходная структура и условия нагрева, определяющие кинетику альфа-гамма-превращения, состав образующегося А. и температурный интервал его формирования. Кристаллическая решетка А. — *границентрированный куб*; углерод расположен в центре, легирующие элементы растворяются по типу замещения. А. немагнитен, отличается высокой вязкостью, *пластичностью*,

Микроструктура аустенита, $\times 450$.



равнялись низкими (если нет легирующих элементов) прочностными характеристиками. Плотность его больше плотности др. структурных составляющих железоуглеродистых сплавов. В равновесном состоянии у А. *поллидрическая структура*, часто с двойниками (см. *Двойниковая структура*) (рис.). При охлаждении А. превращается в др. структурные составляющие сплавов (структуры перлитного семейства, *бейнит*, *мартенсит*). Представление о кинетике превращений А. при постоянной т-ре дают диаграммы изотермического распада (см. *Диаграмма изотермическая*), при непрерывном охлаждении — термокинетические кривые (см. *Диаграмма термокинетическая*). В высокоуглеродистых и легированных сталях вследствие снижения т-ры *мартенситного превращения* А. может частично сохраняться после охлаждения до комнатной т-ры (т. н. *остаточный А.*). В железоуглеродистых сплавах, содержащих значительное количество легирующих элементов, напр. хрома, никеля или марганца, А. устойчив при комнатной т-ре. На закономерностях превращений А. при охлаждении основаны *закалка*, *нормализация*, *отжиг*, *патентирование* и др. процессы термической обработки. См. также *Аустенитизация*.

Лит.: Гуляев А. П. Термическая обработка стали. М., 1960; Дьяченко С. С., Тарабанова В. П., Петриченко А. М. Особенности $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения в стали с различным исходным состоянием. «Физика металлов и металловедение», 1972, т. 34, в. 1; Тарабанова В. П., Дьяченко С. С., Петриченко А. М. Влияние степени неравновесности исходного состояния на температуру начала $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в сталях. «Физика металлов и металловедение», 1972, т. 34, в. 6; Гриднев В. Н. [и др.]. Физические основы электротермического упрочнения стали. К., 1973. С. С. Дьяченко.

АУСТЕНИТИЗАЦИЯ — превращение исходной структуры железоуглеродистых сплавов в *аустенит* при нагреве выше *критических точек*. Происходит преимущественно в стали, являясь составной частью процессов ее термической обработки: *закалки*, *нормализации*, *отжига*. Основная цель А. является *перекристаллизацией* структуры с получением мелкого зерна, выравнивание хим. состава стали в пределах зерна аустенита. При повышении т-ры от 723° С

до т-р, соответствующих точкам A_{c3} и A_{cm} , происходит неполная А.: в структуре стали наряду с аустенитом остается *феррит* (в доэвтектоидных сталях) или *цементит* (в заэвтектоидных сталях). Если т-ра выше верхней критической точки, начинается рост зерна аустенита, зависящий от степени повышения т-ры, выдержки при данной т-ре, способа раскисления (см. *Раскислители*), легирования и др. В результате чрезмерно высокого нагрева (см. *Перегрев металла*) образуются очень крупные зерна аустенита. При т-ре, близкой к т-ре оплавления, вследствие *диффузии* кислорода возможно окисление *границ зерен*, что ведет к нарушению связи между зернами и резкому ухудшению мех. св-в (см. *Пережог металла*). Крупное зерно аустенита измельчают перекристаллизацией при вторичном нагреве, а пережог является окончательным браком. Размер зерна аустенита в значительной степени определяет размер зерна стали после охлаждения и существенно влияет на ее *пластичность*, *ударную вязкость*, *прокаливаемость* и др. характеристики. Чаще всего стремятся получить мелкое зерно аустенита. Раскисление стали алюминием и введение небольшого количества сильных карбидообразующих хим. элементов (ванадия, ниобия, титана) приводят к мелкозернистому аустениту и малой чувствительности к росту зерна аустенита при нагреве до т-ры 900—1100° С. Размер зерна аустенита оценивают по шестнадцатibalльной шкале при стократном увеличении. Шкала построена на соотношении $n = 8 \cdot 2^N$, где n — число зерен, помещающихся на 1 мм² шлифа; N — балл зерна. Чем меньше зерно аустенита, тем больше его балл по шкале. Обычно зерно аустенита обуславливает и мелкокристаллический излом стали (см. *Излом металла*). Однако, нагревая сталь с перегретой и кристаллически упорядоченной структурой (см. *Мартенсит*, *Бейнит*) и мелким зерном, видимым под микроскопом, можно получить и крупнокристаллический из-

лом с низкими значениями ударной вязкости. Такое явление объясняется одинаковой кристаллографической ориентацией мелких зерен аустенита, образующихся при перекристаллизации в пределах исходного зерна стали, т. е. сохранением ориентационного соответствия новых зерен аустенита с исходным зерном (см. *Наследственность в металлах*). Зависит это явление от условий нагрева и наблюдается как при очень медленном, так и при очень быстром повышении т-ры. Для исправления ориентированного зерна аустенита прибегают к двойной термической обработке — первому нагреву значительно выше критических т-р и последующему норм. нагреву немного выше их. А. проводят и в чугунах, напр. при нагреве для термообработки и графитизации. См. также *Диаграмма состояния железо — углерод*. Лит.: Садовский В. Д., Малышев К. А., Сазонов Б. Г. Фазовые и структурные превращения при нагреве стали. Свердловск — М., 1954; Гуляев А. П. Термическая обработка стали. М., 1960; Садовский В. Д. Структурная наследственность в стали. М., 1973. К. Н. Соколов.

АЭРОСИЛ (от греч. *ἀήρ* — воздух и лат. *sil(icium)* — кремний) — высокодисперсная синтетическая *двуокись кремния*. Выпускают аэросил трех марок: А-175 (первого и второго сортов), А-300 и А-380, к-рые различаются удельной поверхностью. Плотность 2,36 г/см³. А. марок А-175 и А-300 изготавливают в уплотненном и неуплотненном виде. Неуплотненный А. — голубовато-белый, рыхлый порошок. Насыпная масса неуплотненного А. — 40—60,

уплотненного — 110—140 г/л. Ср. размер частиц А. марки А-175 — (10—40) 10⁻¹² мм, марки А-300 — (5—20) 10⁻¹², марки А-380 — (5—15) 10⁻¹² мм. Влажность не более 4%. Потери в массе при прокаливании не более 2%. Содержание окислов (Fe₂O₃, TiO₂, Al₂O₃) ~ 0,1%. А. получают гидролизом паров четыреххлористого кремния в пламени водорода (при т-ре 1100—1400° С). А. с поверхностью, модифицированной парами органосилоксанов, отличается повышенной *гидрофобностью* и разной величиной показателя рН водной среды (*модифицированный А.*). *Модифицирование* поверхности осуществляют также хлор-, трихлорсиланами и др. соединениями. А. используется как *наполнитель* резин, каучуков, пластмасс, в качестве загустителя смазочных материалов, клеев, красок, как адсорбент в хроматографии и т. д. Может вызвать фиброзный процесс в легких. Предельно допустимая концентрация его в воздухе рабочей зоны производственных помещений — 1 мг/м³. Предельно допустимая концентрация А. марки А-300, модифицированного бутиловым эфиром, — 1 мг/м³, модифицированного диметилдихлорсиланом, — 2 мг/м³. На А. разработан ГОСТ 14922—69.

Лит.: Черняк К. И. Неметаллические материалы в судовой электро- и радиотехнической аппаратуре. Л., 1970; Мащенко В. М. [и др.]. Бутокси-аэросилы — загустители смазочных материалов. «Химия и технология топлив и масел», 1972, № 1; Тимченко А. Н. Материалы к гигиеническому нормированию пыли аэросила, модифицированного бутиловым спиртом и диметилдихлорсиланом. «Гигиена труда и профессиональные заболевания», 1973, № 8.

Н. Д. Руденко.

Б

БАББИТ [по имени амер. изобретателя И. Баббита (I. Babbitt)] — антифрикционный сплав на основе *олова* или *свинца*; вид *антифрикционного материала*. Высокие антифрикционные св-ва Б. обусловлены его

гетерогенной структурой, характеризующейся наличием мелких твердых кристаллов (фаз) в мягкой основе. Б. отличается сравнительно низкой т-рой плавления, высокой *пластичностью* и хорошей *приработкой*

ваемость. Наносят его в виде тонкого слоя на сталь, чугун, реже — на бронзу и латунь. Полуфабрикаты из Б. изготавливают в виде чушек. Различают Б. оловянистые, свинцово-сурьмянистые и свинцовистые (табл. 1, 2). Осн. легирующий элемент оловянистых Б. — сурьма, которая образует при затвердевании расплава кристаллы соединений $SbSn$, расположенных в пластичной основе — твердом растворе сурь-

мы в олове. Добавки меди образуют при охлаждении расплава твердые кристаллы соединения Cu_3Sn , которые, выделяясь первыми, препятствуют *ликвации* богатых сурьмой кубических кристаллов и измельчают их. Сплавы марок Б83, Б83С и Б88 обладают самыми высокими антифрикционными св-вами и лучшей

Таблица 1. Химический состав баббитов

Марка баббита	Содержание элементов, %								
	Sn	Pb	Sb	Cu	Cd	Co	Na	Ni	Прочие
Оловянистые баббиты									
Б88	Основа	—	7,3—7,8	2,5—3,5	0,8—1,2	—	—	0,15—0,25	—
Б83	»	—	10,0—12,0	5,5—6,5	—	—	—	—	—
Б83С	»	1,0—1,5	9,0—11,0	5,0—6,0	—	—	—	—	—
Свинцово-сурьмянистые баббиты									
Б16	15,0—17,0	Основа	15—17	1,5—2,0	—	—	—	—	—
БС6	5,5—6,5	»	5,5—6,5	0,1—0,3	—	—	—	—	—
БН	9,0—11,0	—	13—15	1,5—2,0	1,25—1,75	—	—	0,10—0,50	0,5—0,9 As
Свинцовистые баббиты									
БКА	—	Основа	—	—	—	0,95—1,15	0,7—0,9	—	0,05—0,2Al
БК2	1,5—2,1	»	—	—	—	0,30—0,55	0,2—0,4	—	0,06—0,11Mg
БК2Ш	1,5—2,1	»	—	—	—	0,65—0,90	0,7—0,9	—	0,11—0,16Mg

Таблица 2. Свойства баббитов

Марка баббита	$t_{пл}, ^\circ C$	$D, г/см^3$	λ (при температуре 50—150° C), $кал/см \times 50 \times сек \cdot град$	$\rho, ом \cdot мм^2/м$	$\alpha \cdot 10^6, град^{-1}$	$\sigma_B, кгс/мм^2$	$\sigma_H, кгс \cdot м/см^2$	НВ	
								20° C	100° C
Оловянистые баббиты									
Б88	320	7,35	0,092	0,15	23,2	8,0	1,17	24,3	10,3
Б83	370	7,33	0,080	0,14	23,0	11—12	0,6	30,0	14,5
Б83С	400	7,4	—	—	—	—	—	27,0	—
Свинцовосурьмянистые баббиты									
Б16	410	9,29	0,060	—	24,0	14,7	—	30,0	15,0
БС6	280	10,05	—	—	28,0	6,8	—	15—17	9,0
БН	400	9,55	—	—	—	12,5—13,0	0,3	29,0	13,0
Свинцовистые баббиты									
БКА	440	10,5	—	—	—	10,0	—	19,7	11,7
БК2	420	10,8	0,05	—	36,0	9,6	1,0	32	19,0
БК2Ш	430	10,8	—	—	—	9,8	—	—	—

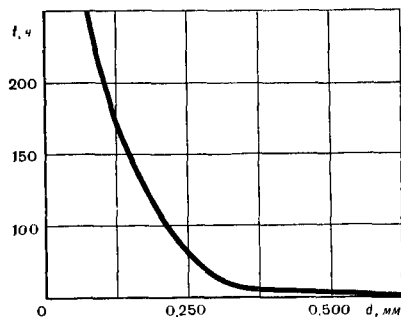
жидкотекучестью по сравнению со сплавами других марок. Оловянистые Б. применяют для подшипников ответственного назначения, эксплуатируемых при больших ударных нагрузках (см. также *Оловянистый баббит*). Входящие в состав свинцово-сурьмянистых Б. медь, никель, кадмий и др. элементы повышают *прочность, твердость, ударную вязкость* и антикоррозионные св-ва; мышьяк улучшает жидкотекучесть. Эти сплавы эксплуатируют при более высокой т-ре, чем оловянистые, широко используя для подшипников автомобильных и др. двигателей. Б. марки Б16 является хорошим заменителем сплава марки Б83 при спокойной и ударной нагрузке, когда она менее $60 \text{ кгс} \times \text{м/см}^2 \cdot \text{сек.}$ Б. марки БС6 применяют для подшипников автотракторных двигателей, Б. марки БН — для средненагруженных подшипников дизелей и компрессоров. В свинцовистых Б. осн. легирующими элементами являются кальций и натрий. Прочность этих сплавов возрастает при естественном старении (см. *Старение материалов*). Старение сплавов марок БК2 и БКА значительно ускоряют *отжигом* при т-ре $50\text{—}75^\circ \text{C}$. За 1 ч нагрева при т-ре 75°C твердость их достигает такой же величины, как после 60 суток естественного старения. Антифрикционную структуру в сплавах создает кальций, образующий со свинцом соединение Pb_2Ca , равномерно и тонкодисперсно расположенное в мягкой основе сплава. Натрий повышает его твердость. Небольшое к-во олова вводят в свинцовистые сплавы для уменьшения окисляемости расплава и улучшения его *адгезии* с основой подшипника. Алюминий и магний способствуют уменьшению угара кальция и магния. Продолжительность эксплуатации зависит от толщины слоя (рис.) и рабочей т-ры. Увеличение этой т-ры с 90 до 140°C при одинаковой нагрузке и толщине слоя сплава $0,1 \text{ мм}$ уменьшает продолжительность эксплуатации подшипника с 250 до 50 ч. Б. марки БК2 применяют для заливки вкладышей подшипников тол-

щиной не более $0,7\text{—}1 \text{ мм}$. (с таким рабочим слоем они быстро прирабатываются). Б. марок БК2 и БК2Ш применяют для подшипников двигателей большой мощности. Б. марки БКА используют для заливки вкладышей подшипников пассажирских и товарных вагонов и тендеров (см. также *Свинцовистый баббит*). Химический состав и свойства Б. марок БКА, БК2 и БК2Ш регламентирует ГОСТ 1209—73, остальных — ГОСТ 1320—74.

Лит.: Справочник по машиностроительным материалам, т. 2. М., 1959; Материалы в машиностроении. Справочник, т. 1. М., 1967.

Г. Е. Шпичинецкий, Е. С. Шпичинецкий.
БАЗАЛЫТ (лат. *basaltes*, от греч. *βάσιλος* — пробный камень; но другой версии — от эфиоп. базаль — железосодержащий камень) — излившаяся кайнотипная основная (обычно не содержащая свободной кремнекислоты) горная порода. Состоит из *плаггиоклаза*, темноцветного минерала, вулканического стекла и акцессорных минералов (магнетита, ильменита, апатита и др.); эффузивный аналог *габбро*. Плаггиоклаз представлен обычно лабрадором, реже битовнитом и совсем редко анортитом. В фенокристаллах он более основного состава, чем в основной массе. Темноцветный минерал большей частью представлен *пироксеном* (авгитом, реже гиперстеном, бронзитом, энстатитом), довольно часто *оливином*, изредка бурой роговой обманкой, *биотитом*. Магнетит, титаномagnetит или ильменит

Зависимость продолжительности эксплуатации подшипников (при удельном давлении 14 кгс/мм^2) от толщины слоя свинцовистого баббита, залитого на стальной вкладыш.



постоянно содержатся в Б. в виде кристалликов или скелетных форм. Количественное соотношение между главными породообразующими силикатными и фемическими минералами близко к единице. По составу Б. подразделяют на океанические и континентальные или соответственно — на щелочные оливиновые Б. и толеиты. Океанические характеризуются более низким содержанием SiO_2 и более высоким содержанием Na_2O , K_2O и MgO . В зависимости от палеотипного или кайнотипного облика, от тектурных и структурных особенностей среди Б. выделено большое количество разновидностей. В классификации, основанной на структуре, выделяют ряд базальтовых разновидностей кайнотипного облика: долериты (основная масса полнокристаллическая), анамезиты (в сравнении с долеритами более тонкозернистые, промежуточные между долеритами и Б.), базальты (наиболее тонкозернистые, целиком состоят из афанитовой массы и обычно содержат стекло), гиаобазальты (стекловатая часть породы преобладает над кристаллической). Среди пород базальтовой группы палеотипного облика различают: диабазы (палеотипные аналоги долеритов и анамезитов), вариолиты (палеотипные Б. со сферолитовой структурой) и др. разновидности. Б. подразделяют также по составу: мелабазальт (содержит повышенное количество темновесных минералов), океанит (обогащен выделениями оливина), лейкобазальт (содержит повышенное количество плагиоклаза) и др. По геологическим условиям образования Б. подразделяют на геосинклинальные и платформенные, отличающиеся набором пород, с которыми ассоциируют. Средний хим. состав (по Р. Дэли) (%): SiO_2 — 49,06; TiO_2 — 1,36; Al_2O_3 — 15,70; Fe_2O_3 — 5,38; FeO — 6,37; MnO — 0,31; MgO — 6,17; CaO — 8,95; Na_2O — 3,41; K_2O — 1,52; P_2O_5 — 0,45; H_2O — 1,62. Структура афировая или порфировая, основная масса долеритовая, интерсертальная, нередко гиаопилитовая. Порфировые включения представлены плагиоклазом, пироксеном, оливином. Текстура массивная, миндалекаменная. Плотность Б. 2,77—2,97 г/см³; коэфф. пористости 0,6—19%; $t_{\text{пл}}$

1100—1250° С; t -ра ликвидуса от 1250 до 1350° С; коэфф. теплопроводности (t -ра 20° С) 1,2—2,4 ккал/м × Ч · град; удельная теплоемкость при t -ре 0° С равна 0,20, при t -ре 200° С — 0,25 ккал/кг · град. Модуль Юнга (0,62—1,13) 10⁴ кгс/мм²; модуль сдвига (0,275—0,346) 10⁴ кгс/мм²; коэфф. Пуассона 0,22—0,25. Б. отличается хим. стойкостью к большинству к-т и оснований. Относится к наиболее распространенным породам, на его долю приходится более 20% магматических пород. Залегают они гл. обр. в виде покровов и потоков, площадь к-рых нередко достигает нескольких десятков, а иногда и сотен квадратных километров; мощность покровов измеряется несколькими десятками метров. Для Б. характерна столбчатая отдельность. Б. — строительный материал, используемый для получения брусчатки, щебня, штучного камня, для облицовки сооружений.

Кроме того, его используют для получения базальтовой ваты и различных литых изделий, отличающихся высокими прочностью, кислотостойкостью и износостойкостью. См. также Базальтовое волокно.

Лит.: Левинсон - Лессинг Ф. Ю. Петрография. Л.—М., 1940; Заварцкий И. Н. Изверженные горные породы. М., 1961; Кобранова В. Н. Физические свойства горных пород. М., 1962; Левинсон - Лессинг Ф. Ю., Струве Э. А. Петрографический словарь. М., 1963; Дортман Н. Б. [и др.]. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. М., 1964; Пеликан А. Плавные камни. Пер. с чеш. М., 1959; Справочник физических констант горных пород. Пер. с англ. М., 1969. И. С. Усенко.

БАЗАЛЬТОВОЕ ВОЛОКНО — волокно, состоящее из базальтовых нитей. Пром. произ-во его началось в конце 19 в. в США. Осн. компоненты Б. в. — SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 , Fe_2O_3 и Na_2O . Б. в. отличается высокой прочностью, хим. стойкостью, износостойкостью. Получают волокно раздуванием струи базальтового расплава сжатым воздухом или паром. Б. в. используется преим. как фильтровальный и изоляционный материал. Слоем войлока (2,5—10 см) из него можно заменить несколько песчано-гравийных слоев,

что на 30—50% снижает стоимость сооружения фильтров. Фильтры из Б. в. используются также для глубокого и мелкого горизонтального трубчатого дренажа на орошаемых и осушаемых территориях, для трубчатого и наклонного дренажа на низовых откосах земляных плотин, под креплениями на напорных откосах земляных плотин, защитных дамб, каналов и др. С помощью Б. в. осуществляют изоляцию в паровых и газовых турбинах с т-рой теплоносителя соответственно 650 и 700—750° С. Кроме того, Б. в. находит применение в качестве *звукопоглощающего материала*, заменителя *асбеста* в произ-ве *асбестоцементных материалов* и *асбошифера*. Используют его также для изготовления бумаги и картона, отличающихся повышенными впитывающими, фильтрующими и теплоизоляционными св-вами. Базальтовые жгуты и ткани марок ТБЖ-0,6 и ТБЖ-0,7 по своей структуре — аналоги стандартной ткани марки ТСЖ-0,7 из стеклянного жгута (МРТУ 6—05—899—63). Как *наполнители* они обеспечивают достаточно высокие физико-механические свойства стеклопластиков. См. также *Базальт*, *Волокнистые материалы*.

Лит.: Китайцев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1970; Волокнистые материалы из базальтов Украины. К., 1971. *Е. Н. Денбиовецкая.* **БАКОР** [от *ба*(дделейт) и *кор(унд)*] — бадделейто-корундовый плавлено-литой *огнеупорный материал*. Промышленное производство его освоено в СССР в 1951. Выпускают Б. марки «Бакор-33», содержащий 13—14% SiO_2 , 32—33% ZrO_2 , 49—50% Al_2O_3 , 3—3,5% TiO_2 , Fe_2O_3 и др. окислов, и марки «Бакор-41», к-рый содержит 13% SiO_2 , 41—42% ZrO_2 , 41—42% Al_2O_3 , 2,5—3% TiO_2 , Fe_2O_3 и др. окислов. Б. отличается высокой *твердостью* (9—9,5 по шкале Мооса), *плотность* его — 3,6—3,8 г/см³. С увеличением содержания двуокиси циркония улучшаются физ.-мех. характеристики Б.: повышается плотность, т-ра начала размягчения, *коррозионная стойкость* в расплавленной стекломассе. Б. получают плавлением в дуговых печах шихты,

состоящей из технической *окси алюминия*, обезжелезненного циркония ZrSiO_4 и двуокиси циркония. Изделия из Б. (преимущественно бруссы размером 600 × 300 × 250 и 600 × 400 × 250 мм) изготавливают, заливая расплав с т-рой 1800—1850° С в песочные или графитовые формы. Остаточные напряжения в отливках снимают термообработкой в контейнерах с диатомитовой теплоизоляцией или в отжиговых печах туннельного типа. Бакоровые огнеупоры используют для кладки конструктивных элементов стекловаренных металлургических печей. Замена шамотных и муллитовых огнеупоров бакоровыми дает возможность почти в два раза увеличить срок эксплуатации печей, удельный съем стекломассы, значительно повысить температуру варки, улучшить качество стекла. Б. марки «Бакор-33» выпускают в соответствии с СТУ 47—228—65.

Лит.: Химическая технология керамики и огнеупоров. М., 1972. А. Г. Малаякин. **БАРИЙ** (Barium; от греч. βαρύς — тяжелый), Ва — хим. элемент II группы *периодической системы элементов*; ат. н. 56, ат. м. 137,34. Серебристо-белый металл. В соединениях проявляет степень окисления +2. Природный Б. состоит из семи стабильных изотопов, среди к-рых преобладает изотоп ¹³⁸Ba (71,66%). Б. в виде окиси открыл в 1774 швед. химик К. Шееле. Металлический Б. получил в 1808 англ. химик Г. Дэви. Содержание Б. в земной коре — 5 × 10⁻²%. В свободном состоянии в природе не встречается. Из минералов пром. значение имеют *барит* и менее распространенный *витерит*. Важнейшие неорганические соединения: окись BaO, перекись BaO₂, гидроокись Ва (ОН)₂, карбонат BaCO₃, сульфат BaSO₄ и хлорид BaCl₂. Кристаллическая решетка Б. кубическая объемноцентрированная с периодом $a = 5,019 \text{ \AA}$; *плотность* 3,76 г/см³; $t_{\text{пл}}$ 710° С; $t_{\text{кип}}$ 1637—1640° С; температурный коэфф. линейного расширения (т-ра 0—100° С) $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$; *удельная теплоемкость* 0,068 кал/г · град; *удельное электрическое сопротивление* $6 \cdot 10^{-5} \text{ ом} \cdot \text{см}$, *твердость* по Бринеллю 4,2, по шкале Мооса 2. По хим. св-вам схо-

менением с кальцием, стронцием и радием. На воздухе быстро окисляется. При нагревании на воздухе легко воспламеняется и сгорает. Энергично разлагает воду. С водородом образует гидрид BaH_2 . При нагревании соединяется непосредственно с азотом, серой и галогенами. Осн. сырьем для получения Б. и его соединений служит барит, к-рый восстанавливают углем в пламенных печах. Образующийся растворимый сульфид Б. перерабатывают на др. соли металла. Металлический Б. получают термическим восстановлением его окиси порошком алюминия при т-ре $1100-1200^\circ C$. Процесс ведут в электровакуумных аппаратах периодического действия, где последовательно проходят восстановление, отгонка, конденсация и отливка металла в слиток. Технический продукт содержит 96—98% металла. Двойной перегонкой в вакууме при т-ре $900^\circ C$ содержание примесей снижают до $1 \times 10^{-4}\%$. Сплавы Б. получают электролизом расплава смеси хлоридов. Практическое применение металлического Б. невелико. Б. и его сплавы с магнием и алюминием используют для поглощения остаточных газов в технике высокого вакуума (см. *Геттеры*). Б. вводят в некоторые *антифрикционные материалы*. Сплавы свинец — барий вытесняют полиграфические сплавы свинец — сурьма. Сплавы Б. с никелем применяют для изготовления электродов запальных свечей двигателей и в радиолампах. Сульфат $BaSO_4$ применяют как белый пигмент, а также в произ-ве линолеума и бумаги. Титанат $BaTiO_3$ — один из важнейших *сегнетоэлектрических материалов*. Окись BaO используют при изготовлении стекла, эмалей и термокатализаторов. Перекись BaO_2 служит для получения перекиси водорода, для отбеливания тканей, ее используют также в качестве катализатора крекинг-процесса, как один из компонентов запальных смесей в алюмотермии и пиротехнике. Фторид BaF_2 применяется при изготовлении эмалей и оптических стекол. Цирконат $BaZrO_3$ — высококачественный *огнеупорный материал*. Рентгеновское и радиоактивное излучение возбуждает желто-зеленую флуоресценцию комплексной соли $Ba[Pt(CN)_4]$, на чем основано при-

менение спец. экранов, покрытых этой солью. Соединения Б. хорошо поглощают рентгеновские лучи и гамма-излучение, вследствие чего их вводят в состав защитных материалов в рентгеновских установках и ядерных реакторах. Окрашенные соли Б. являются пигментами: хромат $BaCrO_4$ — желтый, манганат $BaMnO_4$ — зеленый. Растворимые соли Б. ядовиты.

Лит.: Дымчишин Д. А. Производство бариевых солей. Л.—М., 1938; Баранова М. К. Барий (Обзор литературы). М., 1962; Рипан Р., Честяну И. Неорганическая химия, т. 2. Пер. с румын. М., 1972.

Ф. Д. Шевченко.

БАРИТ (от греч. βαρύς — тяжелый), $Ba [SO_4]$ — минерал класса сульфатов. Его синоним: тяжелый шпат. Разности: стронциобарит — Б. с высоким содержанием стронция; Б. свинцовистый — барит, богатый свинцом (до 17,78% PbO); волни — морфологическая разность Б., сильно вытянутые по оси с эллипсоидные и округлые кристаллы; «розы пустыни», «каменные розы», или «песчаный барит» — друзы пластинчатых кристаллов Б., обычно с включениями песчанистых зерен. Хим. состав (%): BaO — 65,70; SO_3 — 34,30. Изоморфные примеси: стронций и кальций, реже — свинец и радий. Возможно замещение бария ртутью и кобальтом. Мех. примеси: окислы железа, глинистые и органические вещества. Структура островная, сингония ромбическая, вид симметрии ромбодипирамидальный. Для Б. характерны друзы хорошо выраженных кристаллов. Чаше встречается в силовых зернистых или землистых массах в виде шаровидных и эллипсоидных конкреций, сталактитов и др. натечных форм. Кристаллы имеют тонко- и толстотаблитчатый по оси c , реже призматический по оси a или b габитус. Наиболее часто встречающиеся формы {001}, {210}, {101}, {011}, {111}, {010}, {100}. Полисинтетические двойники по {110}. Спайность совершенная (см. *Спайность минералов*) по (001), менее совершенная по (210) и (010). Плотность 4,48 г/см³; твердость по шкале Мооса 3—3,5,

измеренная микровдавливанием 149,3—185,2 кгс/мм², изменяется в зависимости от направления в кристалле: на плоскости (001) твердость вдоль [100] приблизительно в два раза больше, чем в направлении под углом 30° к [100]. Хрупкий. Цвет (см. *Цвет минералов*) белый, голубой или серый, примеси окрашивают Б. в красный, желтый, бурый цвет. Прозрачные кристаллы бесцветны. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный, на плоскости спайности перламутровый. Излом (см. *Излом минералов*) неровный. Окрашенные разности слабо плеохроируют. Схема абсорбции: $N_g > N_m > N_p$. Двухосный, положительный; $2V = 37,5^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,647$; $n_m = 1,637$; $n_p = 1,636$; $n_g - n_p = 0,011$. Некоторые разности Б. люминесцируют в ультрафиолетовых лучах, а также термолуминесцируют. В воде слабо растворим. Растворимость увеличивается при наличии хлоридов. При t -ре 1149°C Б. переходит в высокотемпературную модификацию, изоструктурную с высокотемпературными модификациями целестина и ангидрита. Плавится при t -ре 1570°C . Б. — типичный гидротермальный минерал, выполняет пустоты и составляет почти мономинеральные жилы. В экзогенных условиях в небольших количествах образует конкреции в осадочных породах — образованиях морских прибрежных зон, а также россыпные месторождения, возникающие при выветривании гидротермальных жил. Кроме того, Б. образуется в результате реакции между растворимыми солями бария и сульфатами др. металлов в зоне окисления сульфидных месторождений в подзоне выщелачивания («баритовые сыпучки»). Б. получают реакцией растворимых солей бария — BaCl_2 , $\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2$ и др. — с сульфатами щелочей или серной к-той, а также взаимодействием бикарбоната бария с ангидритом при наличии двуокиси углерода. Б. — сырье для изготовления различных бариевых солей и препаратов, используемых в кожевенном и сахарном произ-ве, пиротехнике, произ-ве

высокопреломляющих стекол, фотобумаги. Служит наполнителем и утяжелителем изделий резиновой и лакокрасочной пром-сти. Используется в лакокрасочной пром-сти для произ-ва высокосортных белил (состава 70% BaSO_4 и 30% ZnS), различных цветных красок, эмалей, а в виде порошка — в составе глинистых растворов, широко применяемых при бурении скважин.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. [и др.]. Минералогия Закарпатья. Львов, 1963; Лазаренко В. К., Серебряковский Б. И. Минералогия Поділья. Львів, 1969; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Пороодообразующие минералы. т. 5. Пер. с англ. М., 1966. А. А. Кузьмиченко.

БАРИТОБЕТОН — бетон, получаемый в результате твердения минерального вяжущего материала, заполнителя и воды; разновидность особо тяжелого бетона. Заполнителем для Б. служит барит или баритовая руда (в виде песка или щебня), либо смесь их с металлическим скрапом, чугуной дробью. Объемная масса Б. 3300—3600 кг/м³, прочность на сжатие 250—400 кгс/см², прочность на разрыв 31—44 кгс/см², коэффициент теплопроводности 1,2—1,3 ккал/м · ч · град. Б. неводостоек, нетермостоек, неморозостоек (теряет 40—60% прочности после 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания). Для приготовления Б. баритобетонную смесь перемешивают в гравитационных смесителях циклического действия, уплотняют высокочастотными глубинными вибраторами. Стоимость Б. выше стоимости обычного бетона такой же прочности на 15—30%. Б. применяют для защиты от рентгеновских лучей и радиоактивного излучения. Свойства Б. регламентируются соответствующим нормативным документом — ГОСТом 10268—62.

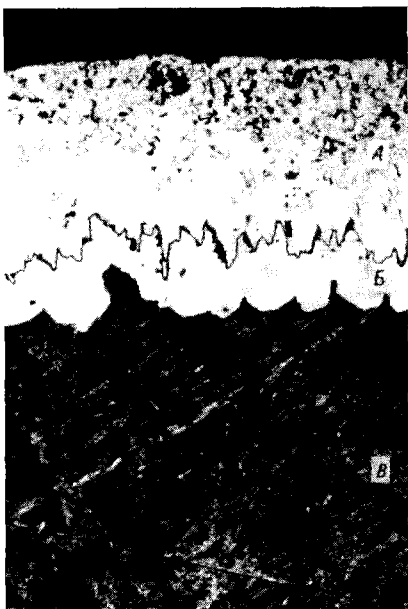
Лит.: Егер Т. Бетон в технике защиты от излучений. М., 1960; Комаровский А. Н. Строительные материалы для защиты от излучения ядерных реакторов и ускорителей. М., 1968; Бродер Д. Л. [и др.]. Бетон в защите ядерных установок. М., 1973. Е. М. Чистова.

БАРЬЕРНЫЙ СЛОЙ (от франц. *barrière* — преграда) — тонкий слой на поверхности твердого материала, предотвращающие или замедляющие нежелательное взаимодействие его с находящимися в контакте твердыми,

жидкими или газообразными веществами. К Б. с. относятся возникающие самопроизвольно или специально создаваемые адсорбционные слои из взаимодействующих веществ либо искусственно вводимых в агрессивную среду ингибиторов (замедлителей) *коррозии металлов*, а также слои, создаваемые напылением и др. способами (см. *Защитные покрытия*). Такие слои препятствуют хим. или диффузионному взаимодействию твердого материала (металла, его сплава, хим. соединения) с твердыми телами, газом или жидкостью. Б. с. должны быть непроницаемыми или малопроницаемыми для атомов и молекул контактирующих веществ. Они должны также отличаться миним. взаимодействием с контактирующими веществами в заданном температурно-временном интервале, т. е. сохранять барьерные свойства при т-ре эксплуатации в течение продолжительного времени; прочно соединяться в процессе эксплуатации с материалом поверхностного слоя; формироваться достаточно просто. Защитное действие ингибиторов корро-

зии заключается в том, что, обладая большой теплотой *адсорбции*, они активно взаимодействуют с материалом поверхностного слоя. При этом чем выше теплота адсорбции, тем прочнее связь адсорбированных атомов и молекул с материалом поверхностного слоя, т. е. свободные валентности поверхностных атомов материала, обладающие способностью к взаимодействию с внешней средой, оказываются полностью занятыми связями с атомами, молекулами или радикалами ингибиторов. В результате на поверхности вещества образуется инертный слой, включающий адсорбированные частицы ингибиторов и несколько атомных слоев твердого материала. Такой слой представляет собой барьер, блокирующий доступ атомов и молекул контактирующих веществ в зону их взаимодействия. Ингибиторами служат неорганические и органические к-ты, их производные и др. вещества, образующие Б. с. в осн. на границе раздела твердый материал — жидкое вещество. Аналогично действие и некоторых газов, в частности кислорода. Обладая большей теплотой адсорбции, чем большинство других газов, кислород также образует на поверхности твердого материала адсорбционный слой — пассивирует ее (см. *Пассивирование*), предотвращая коррозионное разрушение. При длительном контакте адсорбционный слой вследствие *диффузии* утолщается, происходит его *перекристаллизация*, и на поверхности образуется окисная пленка. Если в процессе перекристаллизации условие Пиллинга — Бедвортса $\left(1 < \frac{v_{B3}}{v_M} < 2,5\right)$, где v_{B3} — удельный объем продуктов взаимодействия; v_M — удельный объем металла, израсходованного на образование продуктов взаимодействия) выполняется, пленка превращается в барьер, предотвращающий взаимодействие твердого материала с находящимися с ним в контакте веществами, в том числе кислородом.

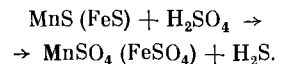
Боридный барьерный слой (Б) на поверхности тантала: А — TaB_2 ; Б — TaB ; В — тантал, $\times 340$.



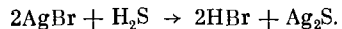
Именно наличием подобного слоя объясняется повышенная *коррозионная стойкость* в окислительных средах сплавов алюминия, хрома, никеля, титана и др. металлов. Таким же образом (но при повышенных *т-рах*) Б. с. формируются на поверхности материалов, используемых при высокой *т-ре*. В процессе взаимодействия контактирующих веществ происходят реакционная диффузия одного или нескольких из них в твердый материал, образование слоя пересыщенного *твердого раствора* и последующая перестройка его кристаллической решетки. В результате на поверхности материала образуется слой новых фаз (рис.), скорость роста к-рых определяется природой контактирующих веществ и условиями взаимодействия (температурой, давлением, концентрацией вещества, временем). Формирование такого слоя возможно газопламенным напылением и др. способом. Если условие Пиллинга — Бедворта выполняется, закономерности роста фаз в заданном интервале *т-р* описываются в основном зависимостями $y^n = kt$ или $y = k \ln \tau$, где y — толщина слоя новой фазы; k , n — коэффициенты скорости роста фаз; τ — время взаимодействия. Чем меньше коэфф. k и больше коэфф. n , тем меньше влияние времени на скорость взаимодействия и тем, следовательно, лучшими барьерными свойствами обладает диффузионный слой. Значения коэфф. n и k определяются природой контактирующих веществ и продуктов взаимодействия, кристаллохим. особенностями образующихся фаз, дефектностью кристаллической решетки, диффузионной подвижностью компонентов в ней, термодинамикой процесса. В общем случае: чем выше прочность межатомной связи (большая часть ковалентных или ионных связей) в продуктах взаимодействия, тем вероятнее проявление ими барьерных свойств. Так, дибориды титана и циркония, окислы алюминия, магния и тория обнаруживают высокие барьерные свойства в контакте со мн. веществами.

Лит.: Алцыбеева А. И., Левин С. З. Ингибиторы коррозии метал-

БАУМАНА МЕТОД — метод определения качества стали (реже чугуна) по характеру распределения ее макрошлифе серы, к-рая отличается повышенной склонностью к зональной и дендритной *ликвации* и ухудшает свойства металла. В отличие от хим. анализа, дающего возможность получать только усредненные или локальные (в месте взятия пробы) данные о содержании серы, Б. м. позволяет наглядно и оперативно судить о количестве и размере сернистых включений на всех участках поверхности макрошлифа, а следовательно, полнее и точнее оценивать качество металла. Метод предложил в 1913 нем. инженер А. Бауман. По Б. м. на тщательно отшлифованную и очищенную поверхность макрошлифа накладывают фотографическую (бромосеребряную) бумагу, к-рую предварительно засвечивают, смачивают водой, выдерживают в 5%-ном водном растворе серной к-ты, а затем слегка подсушивают (для удаления излишнего количества раствора) между листами фильтровальной бумаги. Для того, чтобы под фотобумагой не осталось искажающих изображение пузырьков воздуха, ее проглаживают, не допуская смещения, рукой или резиновым валиком. Фотобумагу выдерживают на макрошлифе около 3 мин. За это время находящиеся на поверхностных слоях макрошлифа сернистый марганец и сернистое железо реагируют с серной кислотой, оставшейся на фотобумаге:



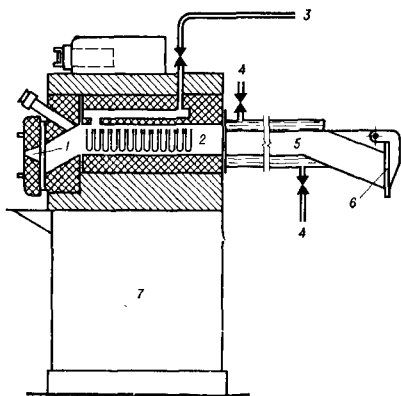
Сероводород в местах выделения воздействует на кристаллики бромистого серебра фотоэмульсии:



Образовавшиеся на фотобумаге темные участки сернистого серебра соответствуют сернистым включениям

в исследуемом металле. Снятую с макрошлифа фотобумагу промывают в воде, фиксируют в растворе гипосульфита, снова промывают и высушивают, а полученный отпечаток сравнивают с характерными (припетыми за эталонные) сернистыми отпечатками, сведенными в своеобразные шкалы. В СССР первая шкала сернистых отпечатков для поковок из стальных слитков массой до 25 т была составлена в 30-х гг. сотрудниками Новокаматорского машиностроительного з-да. В 1963 сотрудники этого з-да совместно со специалистами Ин-та проблем литья АН УССР разработали новые шкалы отпечатков. Шкал этих четыре (для поковок из слитков массой до 25 т, от 26 до 50, от 51 до 130, от 131 до 200 т), и в каждой из них количественно и размер сернистых включений определяются оценкой от одного до четырех баллов (см. вклейки сс. 128 и 129, 144 и 145). Поковки с оценкой выше четырех баллов (напр., с мн. грубых выделений серы) бракуются. Подобные шкалы можно применять и для отливок соответствующей массы. Шкалы сернистых отпечатков внесены в ГОСТ 8536—68 на судовые валы; в ТУ 24—10—001—71 — на заготовки дисков, хвостовиков и ср. части сварных роторов паровых турбин; в ОТУ 24—10—003—68 — на заготовки дисков паровых турбин;

Электрическая камерная печь для безокислительного нагрева металла: 1 — загрузка; 2 — рабочее пространство; 3 — подвод защитного газа; 4 — подвод воды; 5 — камера охлаждения; 6 — выгрузка; 7 — трансформатор.



в ОТУ—24—10—004—68 — на заготовки валов и роторов паровых турбин.

Лит.: Металловедение и термическая обработка стали и чугуна. М., 1956; Браун М. П. (и др.). Новые шкалы сернистых отпечатков для определения качества металла. «Стандартизация», 1965, № 12. Н. И. Матюшенко.

БЕЗОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ НАГРЕВ — нагрев металла, не сопровождающийся окислением его поверхности. Впервые использован при горячей обработке металлических изделий в конце 20-х гг. 20 в. в США. Осуществляется в электрических (рис.) и пламенных муфельных печах с контролируемой газовой средой, нейтральной к металлу, или в вакуумных электр. печах. Муфель с изделиями обогревается газом снаружи; в больших печах обычно защищают пламя — газ сгорает внутри труб, расположенных в рабочем пространстве печи. В таких печах стенки труб (наз. радиационными) излучают тепло на нагреваемые изделия. Различают также печи периодического действия (камерные) и печи, непрерывно действующие (методические, карусельные).

Выбор защитной газовой среды для рабочего пространства печи обуславливается гл. обр. хим. составом нагреваемого изделия и целью *нагрева металла*. Газовую среду чаще всего создают частичным сжиганием высококалорийных природных газов с последующей очисткой (от сернистых соединений, углекислого газа и др.) и осушкой продуктов сгорания. Кроме того, в качестве газовой среды применяют: продукты неполного окисления углеводородных газов, получаемые в спец. генераторах; диссоциированный аммиак и продукты его неполного сгорания; водород, полученный электролизом. При нагреве высокоуглеродистой стали газовая среда состоит из окиси углерода, водорода, азота и небольшого количества углеводородов, при нагреве мягкой и среднеуглеродистой стали — из продуктов неполного сгорания высококалорийного газа. Высокохромистую сталь нагревают в водородной среде, не допуская наличия кислорода даже в связанном виде. Безокислительной средой для

меди служит водяной пар или продукты сгорания топлива, не содержащие свободного кислорода и сернистых соединений; безокислительная среда для титана, циркония и их сплавов — аргон. Газ (эндотгаз), состоящий из смеси 20% СО, 40% Н₂ и 40% N₂, применяют в чистом виде или в смеси с др. газами для газовой цементации, газовой нитроцементации, при восстановлении содержания углерода в поверхностном слое стали, если она была обезуглерожена. Печи с контролируемой газовой средой и вакуумные печи применяют для термической обработки стали с миним. окислением и без обезуглероживания ее поверхности (см. *Обезуглероживание стали*). В вакуумных печах возникает большая разность т-р по объему изделия и увеличивается время его прогрева и термообработки. Кроме того, затраты на капитальное строительство и обслуживание этих печей (при прочих равных условиях) больше, чем для печей с контролируемой газовой средой. Поэтому осн. областью применения вакуумных печей является термообработка высоколегированных сталей и спец. сплавов при температуре выше 1100° С.

В печах с контролируемой газовой средой изделие нагревается более равномерно, а затраты на их оборудование меньше. Поэтому такие печи применяют для термообработки сталей при т-ре ниже 1100° С. К Б. н. прибегают при светлом отжиге в произ-ве холоднокатаной ленты, проволоки и труб, при светлом отжиге деталей после холодного штампования, нагреве под закалку, светлой пайке материалов, спекании изделий и др. При Б. н. нет необходимости в очистке поверхности изделий от окислы, в дополнительной мех. обработке.

Лит.: Копытов В. Ф. Новые методы газового нагрева. М., 1962; Семерин А. М., Еринов А. Е. Газовые радиационные трубы. К., 1968; Окисление и обезуглероживание стали. М., 1972; Эстрин Б. М. Производство и применение контролируемых атмосфер. М., 1973. В. Ф. Копытов.

БЕЗОСКОЛОЧНОЕ СТЕКЛО — листовое стекло, к-рое, разбиваясь при сильном ударе или сосредоточенном

давлении, не образует осколков с режущими краями. Впервые разработано в СССР в 1931. Основные виды Б. с.: закаленное, трехслойное (триплекс), многослойное и армированное стекло.

Закаленное Б. с. получают быстрым и равномерным охлаждением струей воздуха нагретых до т-ры 600—650° С листов обычного (окононого) или полированного стекла. В результате закалки наружные слои их сжимаются, а внутренние растягиваются, образуя равномерно-напряженное стекло, прочность на изгиб, термостойкость и упругость к-рого значительно выше, чем у обычного стекла. Плоское и гнутое закаленное, а также полужакаленное стекло производят на установке, состоящей из электропечи сопротивления, обдувочного устройства и (для гнутого стекла) пресса, расположенных в одну линию. Трехслойное Б. с. состоит из двух листов обычного или полированного стекла, прочно склеенных между собой прозрачной эластичной прокладкой, к-рая и удерживает на себе осколки растрескавшегося стекла. Склеивают стекла в автоклавах, заполненных горячей водой. Закаленное и трехслойное стекло идет на изготовление автомобильных, авиационных, иллюминаторных и электрообогреваемых стекол, стекол для различных приборов и аппаратов, для каминов, зеркал и парников, используется в светотрельтрах и др. Многослойное Б. с. состоит из силикатных и органических (плексиглас) стекол, склеенных (как и трехслойное) органическим веществом. Служит прозрачной броней в самолетах, танках, на кораблях. На закаленное плоское стекло разработан ГОСТ 9424—71, на закаленное гнутое — ГОСТ 11803—60, на трехслойное — ГОСТ 8435—67.

Лит.: Китайгородский И. И. Стекло и стекловарение. М., 1950; Бутт Ю. М., Дудеров Г. Н., Матвеев М. А. Общая технология силикатов. М., 1962; Китайгородский И. И. [и др.]. Технология стекла. М., 1967. Е. П. Гармаш.

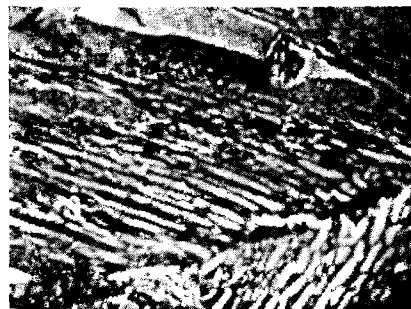
БЕЙНИТ [по имени амер. металлурга Э. Бейна (E. Bain)], игольчатый троостит — структурная составляющая стали, высокодисперсная смесь феррита и карбида железа. Структурное состояние фер-

рита в Б. характеризуется повышенной плотностью структурных несовершенств и наличием избыточного углерода, связанного с дефектами кристаллического строения. В углеродистых сталях Б. образуется во время изотермической закалки в результате распада аустенита в интервале t -р промежуточного превращения — $250-450^\circ\text{C}$ (см. Диаграмма изотермическая). В некоторых легированных сталях Б. может быть получен при их охлаждении на воздухе. В зависимости от условий (гл. обр. температурных) распада переохлажденного аустенита различают Б. нижний (рис. 1) и верхний (рис. 2) с характерными морфологическими и кристаллографическими особенностями. Переход от нижнего Б. к верхнему происходит при t -ре около 350°C . При нагреве стали с бейнитной структурой старение (см. Старение металлов) и отпуск близки по своей природе и результатам к аналогичным процессам, происходящим



Рис. 1. Микроструктура нижнего бейнита (темные иглы) и мартенсита, $\times 10\,000$.

Рис. 2. Микроструктура верхнего бейнита перистого вида, $\times 5000$.



при нагреве стали с мартенситной структурой. На структуру Б. обрабатывают стали (и изделия из них), к-рым необходимо придать высокую статическую, динамическую и циклическую прочность, износостойкость, упругость. Так, сталь марки У8, изотермически закаленная при t -ре 325°C на структуру нижнего Б., имеет следующие св-ва: $HV = 550$, $E = 2,11 \cdot 10^4$ кгс/мм², $\sigma_B = 191$ кгс/мм², $\sigma_{0,2} = 160$ кгс/мм², $\sigma_{0,01} = 120$ кгс/мм², $\delta_{100} = 6\%$, $\psi = 48,5\%$, $a_H = 6,5$ кгс \cdot м/см². Кроме того, высокие пластические св-ва нижнего Б. дают возможность дополнительным наклепом повышать прочность (т. н. способ бейнитирования) различных изделий, напр. проволоки.

Лит.: Материалы научно-технической конференции по проблемам закалки в горячих средах и промежуточному превращению аустенита. Ярославль, 1957; Гуляев А. П. Металловедение. М., 1966; Сазонова А. А. [и др.]. Повышение свойств высокопрочной проволоки диаметром 3—8 мм из стали бейнитовой структуры. «Металлургическая и горнорудная промышленность». 1943, № 4.

А. А. Сазонова.

БЕЛЛА — синтетические минеральные краски, представляющие собой в основном окислы и соли металлов. Различают Б. титановые, цинковые, свинцовые, сернистые (литопионовые) и сурьмяные. Титановые Б. — двуокись титана TiO_2 (см. Анатаз, Рутил) или ее смесь (25—75%) с окисью цинка и наполнителями — отличаются высокой свето- и влагостойкостью, незначительной растрескиваемостью в щелочах и к-тах, не ядовиты. Их плотность $3,82-4,25$ г/см³, маслосъемкость (количество масла, необходимое для получения красочной пасты) 17—26, укрывистость (кроющая способность) 35—45 г/м², коэфф. отражения света 98—99. Титановые Б. получают гидролизом растворов сернокислого титана с последующим прокаливанием метатитановой к-ты или гидролизом либо сжиганием четыреххлористого титана в парообразном состоянии. Цинковые Б. — окись цинка ZnO — свето- и влагостойки, растворяются в щелочах и к-тах, хорошо

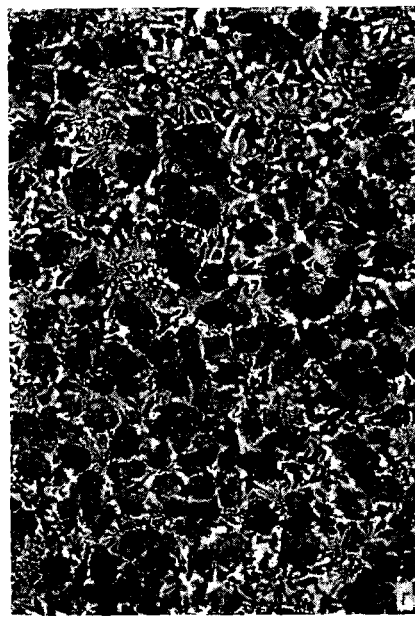
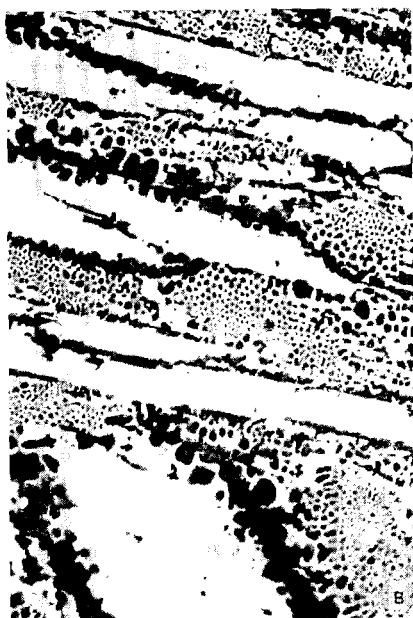
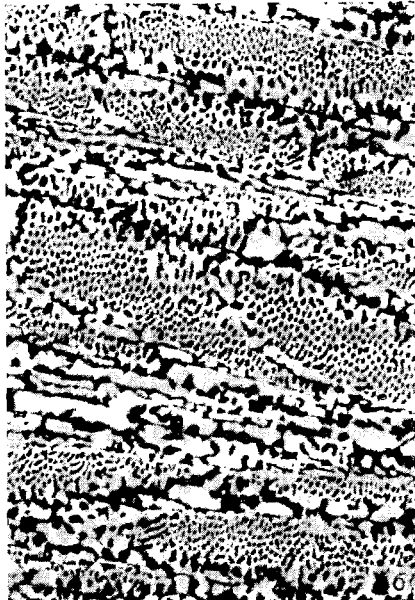
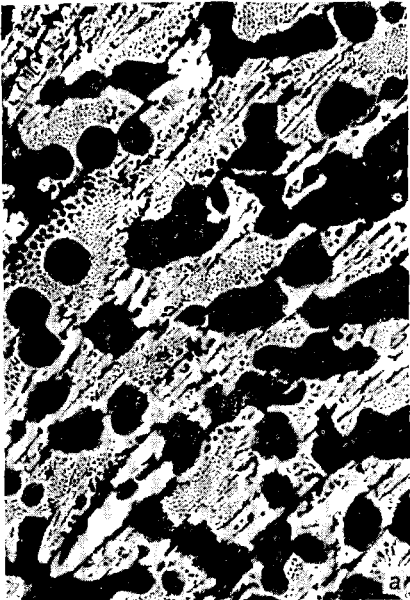
смачиваются связующим и диспергируются в нем, не ядовиты. Их плотность 5,4—5,6 г/см³, маслосемоть 10—14, укрьвистость 100—140 г/м², коэфф. отражения света 92—99. По сухому способу цинковые Б. получают испарением металлического цинка в печах и окислением образовавшихся паров или испарением восстановленной цинковой руды с последующим окислением. Мокрый (гидрометаллургический) способ их получения основан на прокаливании легко диссоциирующих соединений цинка. С в и ц о в ы е Б. — основная углекислая соль свинца $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ — свето- и влагостойки, отличаются высокой коррозийной способностью, растворяются в щелочах и к-тах, не стойки к действию высоких т-р, ядовиты. Их плотность 6,4—6,8 г/см³, маслосемоть 9—12, укрьвистость 130—200 г/м², коэфф. отражения света 99. Свинцовые Б. получают пропусканьем углекислого газа через раствор основного уксуснокислого свинца. С е р н и с т ы е Б. — смесь сернистого цинка ZnS и сернокислого бария BaSO_4 с примесью окиси цинка ZnO — недостаточно свето-, влаго- и воздухостойки, в щелочах и к-тах растворяются незначительно, не ядовиты. Их плотность 4,1—4,3 г/см³, маслосемоть 11—15, укрьвистость 120—160 г/м², коэфф. отражения света 95—97. Сернистые Б. получают совместным осаждением из растворов сернистого цинка и сернокислого бария с последующим прокаливанием. С у р ь м я н ы е Б. — трехокись сурьмы Sb_2O_3 — свето-, влаго- и воздухостойки, отличаются высокой укрьвистостью, ядовиты. Их получают окислением паров металлической сурьмы или прокаливанием трехсернистой сурьмы в окислительной среде. Титановые, цинковые и сернистые Б. используют в произ-ве красок, эмалей, пластмасс и резины, для малярных работ и в живописи. Ограниченно применяют Б. свинцовые (гл. обр. для наружных работ, в судостроении) и сурьмяные (напр., в огнестойких красках). На титановые Б. действует ГОСТ 9808—65, на цинковые Б. — ГОСТ 202—62,

на свинцовые Б. — ГОСТ 12287—66, на сернистые Б. — ГОСТ 907—72.

Лит.: Якубович С. В. Испытания лакокрасочных материалов и покрытий. М. — Л., 1952; Беленький Е. Ф., Рискин И. В. Химия и технология пигментов. Л., 1974; Шампетье Г., Рабата Г. Химия лаков, красок и пигментов, т. 2. Пер. с франц. М., 1962.

Е. П. Сидоров.

БЕЛИТ (от лат. be — название второй буквы алфавита и греч. λίθος — камень) — искусственное соединение, главная составляющая часть портландцементного клинкера. Отождествляется с α' - и β -модификациями Ca_2SiO_4 . Содержит примеси полуторных окислов и мех. включения окиси кальция, окиси магния, алюминатов кальция и др. Чистый природный β - Ca_2SiO_4 называется л а р н и т о м, чистый природный α' - Ca_2SiO_4 — б р е д и г и т о м. Обе модификации обладают вяжущими св-вами. При охлаждении претерпевают полиморфное (см. *Полиморфизм*) превращение в γ - Ca_2SiO_4 , сопровождающееся 10%-ным увеличением объема кристаллов, что вызывает распад в порошок цементного клинкера, шлаков, огнеупорных материалов, содержащих нестабилизированный двухкальциевый силикат. В цементной пром-сти и произ-ве силикатов для предотвращения полиморфного превращения α' -, β - Ca_2SiO_4 в γ - Ca_2SiO_4 применяют стабилизирующие добавки K_2O , Na_2O , P_2O_5 , V_2O_5 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , CrO , Mn_2O_3 , V_2O_5 и С, а также избыток CaO . Хим. состав Б. непостоянен и зависит от количества и природы примесей. Кристаллы прозрачные, бесцветные или желтоватые (из-за примесей железа или титана), форма зерен неправильная, округлая, реже призматическая. Часто наблюдаются полисинтетические двойники. Спайность (см. *Спайность минералов*) ясная по (010) и (100). Плотность 3,28 г/см³. Твердость 5—6. Блеск стеклянный (см. *Блеск минералов*). Т-ра плавления Б. 2130° С. Б. двухосный, положительный; $2V = 64$ —69°. Показатели преломления: $n_g = 1,735 \pm 0,002$; $n_p = 1,715 \pm 0,002$. Образуется в портландцементном клинкере при обжиге цементной шихты (см. *Портландцемент*). Может быть получен совместным обжигом окиси кальция и



Микроструктуры доэвтектического (а), эвтектического (б), заэвтектического (в) и высокохромистого (г) белых чугунов, $\times 150$.

диоксида кремния в твердом состоянии при $t = 800\text{--}1000^\circ\text{C}$. Взаимодействуя с водой, Б. подвергается гидратации с образованием гидросиликатов кальция, что используется при произ-ве бетона.

Лит.: Белянкин Д. С., Иванов Б. В., Лапин В. В. Петрография технического камня. М., 1952; Бутт Ю. М. [и др.]. Технология вяжущих веществ. М., 1965; Березной А. С. Многокомпонентные системы окислов. К., 1970; Инсли Г., Фрешетт В. Д. Микроскопия керамики, цемента, стекол, шлаков и формовочных песков. Пер. с англ. М., 1960. Е. С. Луговская.

БЕЛЫЙ ЧУГУН — чугун с матово-белой поверхностью излома. Впервые начал использоваться в середине 18 в. в Англии и Швеции. В Б. ч. углерод находится в химически связанном состоянии в виде *карбидов железа (цементита)* или легирующих элементов. По хим. составу, типу фазовых превращений при затвердевании и конечной структуре Б. ч. подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические (рис., а, б, в). Доэвтектические и заэвтектические Б. ч. содержат избыточную фазу (*аустенит* или *цементит*) и аустенитоцементитную *эвтектику*, эвтектические Б. ч. — только эвтектику. Морфология структуры Б. ч. зависит от хим. состава и кинетики *кристаллизации*. Избыточный цементит образует пластинчатые *кристаллы*, представляющие собой плоские *дендриты* со сросшимися ветвями высших порядков. Аустенитоцементитная эвтектика формирует бикристаллические колонии с различной разветвленностью обеих фаз при совместном росте. Структура эвтектики изменяется при *легировании* карбидообразующими элементами и *модифицировании*. По ти-

пу конечного аустенита в зависимости от превращений переохлажденного исходного аустенита различают Б. ч. перлитные (см. *Перлит* в металлосведении), мартенситные (см. *Мартенсит*), аустенитные; по содержанию примесей — пелегированные и легированные (табл.). Распространенным типом износостойкого Б.ч. является никельхромистый чугун — *нихард*. Физико-мех. св-ва чугунов изменяются в зависимости от природы и количественного соотношения структурных составляющих.

Многие легирующие элементы (титан, ванадий, алюминий, вольфрам, медь, молибден, хром, олово, марганец, никель) повышают твердость Б. ч., кремний и сера уменьшают ее. Увеличение содержания цементита снижает *теплопроводность* чугунов, вследствие чего они склонны к образованию холодных *трещин*. Б. ч. отличаются хорошей *жидкотекучестью*, повышающейся с увеличением содержания углерода и кремния. Однако значительная линейная *усадка* и грубая первичная структура обуславливают повышенную склонность Б. ч. к образованию горячих трещин. Наибольшей *износостойкостью* характеризуются Б. ч., содержащие 12—24% Cr (рис., з). Чугуны, содержащие 34% Cr и 1,5—2,2% С, коррозионностойки (см. *Коррозионная стойкость*) в к-тах, щелочах, морской воде и жаростойки (см. *Жаростойкость*) при $t = \text{до } 1200^\circ\text{C}$. Для улучшения *прокаливаемости* Б. ч. легируют никелем (3—5%) и молибденом (0,3—1,5%). Б. ч. плохо поддается обработке резанием, поэтому отливки из него подвергают *отжигу*. Б. ч. применяют в горнорудной пром-сти — для изготовления плит шаровых мельниц, рабочих колес шламо-

Химический состав и свойства белых чугунов

Чугун	Содержание					
	C	Si	Mn	P	S	Ni
Нелегированный	2,2—3,7	0,7—1,4	0,3—1,0	0,08—0,3	0,02—0,2	0,08—0,15
Среднелегированный	2,8—3,9	0,4—1,5	0,7—1,2	0,2—0,5	0,02—0,16	0,6—2,5
Высокохромистый	2,6—3,6	0,3—3,5	0,5—5,0	0,05—0,1	0,05—0,1	0,8—8,0
Ванадиевый	1,5—4,8	1,3—1,6	0,5—0,7	До 0,5	—	—

вых насосов, в коксохимической промышленности — для изготовления деталей дробилок, вентиляторов, дымоходов, труб и колес, плит размольных мельниц, в литейном произ-ве — для изготовления деталей дробе-метных установок, лопаток пескометов, в металлургической промышленности — для изготовления валков и роликов прокатных станов. Из высокохромистых Б. ч. изготавливают детали хим. аппаратуры, центробежных и реакционных насосов. Марки и технические требования к Б. м. приведены в ГОСТе 1215—59.

Лит.: Ланда А. Ф. Основы получения чугуна повышенного качества. М., 1960; Алексеев С. А. [и др.]. Справочник литейщика. М., 1962; Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.—Л., 1966; Букин К. П., Таран Ю. Н. Строение чугуна. М., 1972; Гарбер М. Е. Отливки из белых износостойких чугунов. М., 1972. Г. Е. Белай, А. И. Яценко.

БЕНТОНИТЫ (от назв. форта Бентон (Benton) в США) — осадочные горные породы, состоящие в основном из минералов группы *монтмориллонита*. Синонимы: *бентонитовая глина*, *отбеливающая глина*, *сукновальная глина*; местные назв.: *асканиит* и *гумбрин* — в Грузии, *гиляби* — в Азербайджане, *огланлинская глина* — в Средней Азии, *кил* — в Крыму. Различают Б. щелочные (натровые) и щелочноземельные (кальций-магнмиевые и магний-кальциевые). В составе Б. преобладают минералы группы монтмориллонита слоистой структуры, отличающиеся высокой способностью к обмену катионов и поглощению воды. Кроме монтмориллонита, в Б. часто содержатся *гидрослюда*, *каолинит*, *сепиолит*, *пальгорскит*, смешанослойные минералы, из неглинистых минералов — *кристобалит*, *цеолиты*, *полевые шпаты*,

кварц и др. Структура пелитовая, иногда с реликтами пемзовой, перлитовой и порфириовой. Цвет Б. обычно желтый или желтовато-зеленый, блеск восковой, на выветрелой поверхности образуется характерный петельчатый узор. Специфические св-ва Б.: высокая дисперсность, сорбционная способность (см. *Сорбция*), пластичность, инертность к тепловым, химическим и механическим воздействиям, разбухаемость в полярных жидкостях.

В генетическом отношении различают Б.: вулканогенно-осадочные, возникшие в результате подводного преобразования вулканических пеллов и туфов; элювиальные остаточные, образовавшиеся при наземном выветривании изверженных, метаморфических и пирокластических пород или выщелачивании мергелей и известковых глин; гидротермальные; осадочные, образовавшиеся при размыве и переотложении коры выветривания изверженных и вулканогенных пород, элювиальных и гидротермальных бентонитовых глин и продуктов разрушения осадочных пород. Природные Б. применяют для приготовления буровых растворов; в литейном произ-ве — в качестве связующих и пластифицирующих добавок при получении формовочных смесей и облицовке вагранок шамотным кирпичом; в черной металлургии — для окомкования тонкодисперсного концентрата железной руды; в керамическом произ-ве — для придания высокой прочности фарфоровым, фаянсовым и электрокерамическим изделиям; в строительстве — для произ-ва высококачественного *керамзита*, *бетона*, *черепицы*, гидротехнического цемента; в пищевой

элементов, %				$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{и}}$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{н}}$ кгс · м/см ²
Cr	Mo	Прочие	HRC			
До 0,15	До 0,3	—	36—50	15—25	28—40	0,18—0,30
0,3—1,2	До 0,6	0,3—0,50 В, 0,7—1,0 Ti	49—58	18—22	30—40	0,20—0,30
11,0—34,0	0,2—3,5	0,2—0,3 V	42—68	36—45	45—64	0,20—0,40
—	—	2,0—15,0 V, 3,5—4,5 Cu	42—57	65—85	70—90	0,30—0,40

пром-сти — для очистки питьевой воды, пива, соков, сиропов; в медицине и фармакологии — для изготовления таблеток, паст, кремов, присыпок; в сельском хозяйстве — для улучшения структуры почвы, в качестве носителя основных питательных веществ и хим. средств защиты. Активированный Б. используют в качестве катализатора при крекинге нефти и как адсорбент при очистке продуктов нефтепереработки, продуктов коксохимической промышленности и пр.

Лит.: Сырьевая база бентонитов СССР и их использование в народном хозяйстве. М., 1972; E n d e l l K. Bentonit. «Tonindustrie—Zeitung und keramische Rundschau», 1950, № 74; Г р и м Р. Е. Минералогия глин. С англ. М., 1959.

А. Б. Островская.

БЕРИЛЛ (греч. βήρυλλος), $\text{Be}_3\text{Al}_2 \times [\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ — минерал класса силикатов. Разности: и з у м р у д (смарagd, игмеральд) — прозрачные кристаллы ярко-зеленого цвета; а к в а м а р и н — прозрачный минерал сине-голубой окраски; г е л и о д о р — прозрачный минерал желто-бурого и золотистого цвета; р о с т е р и т — белые и светло-розовые короткопризматические, пластинчатые кристаллы. На основании хим. состава Б. выделены цезиевые (морганит и воробьевит) и скандиевая (бацит) разности. Синтетический изумруд наз. и г м е р а л ь д о м. Теоретический хим. состав (%): BeO — 14,14; Al_2O_3 — 19,02; SiO_2 — 66,84. Осн. примеси (%): Li (2,0); Na (4,2); K (2,3), Rb (1,4); Cs (6,7); Ca (4,0); Mg (3,4); Fe^{+2} (2,2); Fe^{+3} (2,8); Sc (10,0); Cr (2,0); H_2O (3,0). Структура кольцевая, сингония гексагональная, вид симметрии дигексагонально-дипирамидальный. Б. встречается в виде одиночных кристаллов или сростков их. Простые формы кристаллов: гексагональная призма $\{10\bar{1}0\}$, пинакоид $\{0001\}$, дипирамиды $\{1121\}$, $\{10\bar{1}1\}$ и призма $\{11\bar{2}0\}$. Спайность (см. Спайность минералов) несовершенная по пинакоиду $\{0001\}$, реже по призме $\{10\bar{1}0\}$. Плотность 2,63—2,91 г/см³. Твердость 6,6—8,0. Цвет (см. Цвет мине-

ралов) обычно желтоватый или зеленоватый. Блеск (см. Блеск минералов) стеклянный. Излом (см. Излом минералов) неровный. Прозрачный. Иногда люминесцирует в ультрафиолетовых и катодных лучах. Б. — одноосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_0 = 1,563$ — $1,626$; $n_e = 1,557$ — $1,608$; $n_o - n_e = 0,003$ — $0,018$. Стоек во всех к-тах, кроме фтористоводородной. Т-ра плавления — 1420°C . Б. связан с кислыми породами (гранитами) и их пегматитами, с грейзенами. Обычные спутники Б. — альбит, кварц, флюорит, топаз, турмалин, касситерит, вольфрамит, молибденит. При гидротермальном изменении Б. может замещаться альбитом, кварцем, берtrandитом, фенакитом, мусковитом и др. минералами. Б. получают из расплава и гидротермальным способом. Используют для получения бериллия, в лазерах — квантовых усилителях и генераторах. Изумруд и аквамарин — драгоценные камни первого класса.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Фекличев В. Г. Берилл. М., 1964; Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971.

Д. К. Возняк.

БЕРИЛЛИДЫ — соединения бериллия с др. металлами. Обнаружены в 1916 при исследовании сплавов, легированных бериллием. По составу и типу кристаллической структуры различают бинарные Б.: MBe_{22} (тип ZrZn_{22}), где М — молибден, вольфрам, технеций, рений; MBe_{13} (тип NaZn_{13}), где М — элементы IIa, IIIa групп периодической системы, цирконий, гафний; MBe_{12} (тип ThMn_{12}), где М — титан, элементы Va, VIa групп периодической системы, марганец, железо, кобальт, палладий, платина; M_2Be_{17} (типы $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$, $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$), где М — скандий, элементы IVa, Va групп периодической системы; M_2Be_{17} (тип $\text{Ru}_2\text{Be}_{17}$), где М — рутений, осмий, родий, иридий; $\text{MBe}_{5,6}$ (тип $\text{Ru}_3\text{Be}_{17}$), где М — рутений, осмий; MBe_5 (тип CaZn_5), где М — скандий, цирконий, гафний; MBe_5 (тип UNi_5), где М — кобальт, железо, палладий, платина, золото; MBe_{4-6} (тип латуни), где М — никель, кобальт, родий, иридий; MBe_3 (тип NbBe_3),

где М — титан, ниобий, тантал; MBe_2 (тип AlB_2), где М — цирконий, гафний; MBe_2 (тип $MgCu_2$), где М — титан, ниобий, тантал, элементы Iа группы периодической системы; MBe_2 (тип $MgZn_2$), где М — ванадий, элементы VIа, VIIа групп и MBe_2 (тип $ZrSi_2$), где М — родий, иридий; MBe (тип $CsCl$), где М — элементы VIIа группы периодической системы; тернарные Б.: $MAiBe_4$ (гранцентрированная кубическая решетка с периодом $a = 6,01-6,11 \text{ \AA}$), где М — марганец, железо, никель; $M_6Cu_8Be_{15}$ (тип Th_6Mn_{23}), где М — титан, цирконий, ниобий, тантал, $a = 10,77-11,18 \text{ \AA}$; $MnCo_{0,8}Be_{1,2}$

(тип $MgCu_2$), $a = 6,20 \text{ \AA}$. С увеличением содержания бериллия плотность Б. уменьшается, напр. с $2,73 \text{ г/см}^3$ для $ScBe$ до $2,09 \text{ г/см}^3$ для $ScBe_{13}$ или с $3,26 \text{ г/см}^3$ для $TiBe_2$ до $2,28 \text{ г/см}^3$ для $TiBe_{12}$. Т-ра плавления Б.: 1230—2030° С (MBe_{13}), 1300—1850° С (MBe_{12}), 1490—1980° С (M_2Be_{17}), 1130—1900° С (MBe_5), 1230—2200° С (MBe_2), 930—2100° С (MBe). Температурный коэфф. линейного расширения $ZrBe_{13}$, MBe_{12} и M_2Be_{17} (М — цирконий, ниобий, тантал, молибден) того же порядка, что и у высокотемпературных материалов. Этот коэфф. у UBe_{13} составляет $16,7 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ (т-ра 20—1000° С), у $MoBe_{22}$ равен $21,5 \times 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ (т-ра 20—200° С). Коэфф. теплопроводности MBe_{13} (М — цирконий, уран), MBe_2 и M_2Be_{17} (М — ниобий, тантал) изменяется в пределах от 0,50 до $0,067 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$ (т-ра 100—1482° С). Модуль Юнга $ZrBe_{13}$, MBe_{12} (М — ниобий, тантал, молибден) и M_2Be_{17} (М — ниобий, тантал, цирконий) уменьшается с $33 \cdot 10^3$ (т-ра 20° С) до $15 \cdot 10^3 \text{ кгс/см}^2$ (т-ра 1370° С). Электрическое сопротивление (т-ра 25° С) $NbBe_{12}$, $TaBe_{12}$, $ZrBe_{13}$ и $MoBe_{22}$ составляет 20—60 $\text{мком} \cdot \text{см}$, температурный коэфф. электр. сопротивления (т-ра 25—730° С) $3 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$. Т-ра перехода в сверхпроводящее состояние 0,72 К (Ni_3Be_{21}) и 2,54—9,75 К (MBe_{22}). Наиболее распространенный способ получения Б. — взаимодействие хим. элементов с парами бериллия или

сплавление хим. элементов в электр. печах (титель из окиси бериллия, защитная среда). Для получения некоторых Б. используют хим. реакции восстановления галогенидов ($BeCl_2$), окислов (BeO), карбидов (Be_2C) бериллия металлами, а также реакции восстановления галогенидов (NpI_3 , AmF_3) при т-ре 900—1200° С и окислов (Ti_2O_3 , SrO) бериллием. В произ-ве бериллидных материалов вместо лития и дуговой плавки используют методы порошковой металлургии и керамической технологии. Методами порошковой металлургии достигается чистота зерен, гомогенность (см. *Гомогенная структура*). Из Б. изготавливают прутки, трубки (экструзией пасты), блоки (прессованием и спеканием), изделия сложных форм (изостатическим прессованием и спеканием либо литием из смеси порошков и воска). Б. применяют в ядерной физике и атомной энергетике: в качестве источников нейтронов ($PoBe_{13}$, $AmBe_{13}$, $PuBe_{13}$, UBe_{13}), замедлителей ($NbBe_{12}$, $ZrBe_{13}$, YBe_{13}), отражателей нейтронов в ядерных реакторах ($ZrBe_{13}$). Бериллид $ZrBe_{13}$ (либо с добавками тория, урана) применяют для изготовления твердого высокотемпературного топливного канала ядерных установок с воздушным охлаждением. Кроме того, бериллиды $FeBe_2$, $MoBe_2$, $NiBe$ используют в покрытиях на конструкционных металлах и сплавах (молибдена, стали марок ЖС6-К, Х18Н9Т) для т-р 800—1200° С. Жаропрочные (до т-ры 1700° С) материалы из Б. перспективны для авиационной и ракетной техники. Наиболее пригоден для авиационных систем (валы, подшипники) бериллид Ta_2Be_{17} . Лит.: Самсонов Г. В. Бериллиды. К., 1966; Матюшенко Н. Н. Кристаллические структуры двойных соединений. Справочник. М., 1969; Матюшенко М. М., Мацакова А. А., Пулячов М. С. Про надпровідність берилідів деяких перехідних металів. «Український фізичний журнал», 1973, № 4.

Н. Н. Матюшенко.

БЕРИЛЛИЕВАЯ БРОНЗА — бронза, в которой бериллий является основным легирующим элементом. Б. б., известная с 18 в., широкое распространение получила с 1935.

Б. б. одних и тех же марок (табл. 1, 2) используют как *деформируемые бронзы* и как *литейные бронзы*.

После *закалки* и искусственного старения (см. *Старение металлов*) Б. б. приобретают высокие *прочность, упругость и текучесть*. Отличаются высокой *электропроводностью, теплопроводностью, твердостью, морозостойкостью, высоким сопротивлением ползучести*. При высокой т-ре Б. б. окисляются в меньшей степени, чем медь и *меди сплавы*; мало склонны к *межкристаллитной коррозии*, однако в напряженном состоянии под действием влажного аммиака и воздуха подвержены коррозионному растрескиванию. Они немагнитны, не искрят при ударе. Медь с бериллием образует ряд *твердых растворов*. При т-ре 864° С растворимость бериллия в меди составляет 2,7%, с понижением т-ры (до 300° С) она падает до 0,2%, что дает возможность упрочнять сплав термической обработкой. Нагрев под упрочняющую термическую обработку Б. б. осуществляют при т-ре 750—790° С

с последующей закалкой в воде для получения пересыщенного твердого раствора; *отпуск* проводят при т-ре 300—350° С, при этом выделяется β'-фаза (твердый раствор на основе хим. соединения электронного типа CuBe, отличающегося высокими твердостью и прочностью). Мех. св-ва состаренной Б. б. зависят от содержания бериллия (рис.). В Б. б. часто вводят добавки никеля, кобальта, железа, марганца, магния и др. элементов, к-рыми частично заменяют дорогостоящий и дефицитный бериллий, мало изменяя св-ва сплава. Никель, кобальт и железо заметно замедляют фазовые превращения, вследствие чего отпадает необходимость в крайне высоких скоростях охлаждения. При содержании 0,15—0,35% Ni сплав приобретает оптимальные св-ва. Бронзы с пониженным (0,5—1%) содержанием бериллия и повышенным (5—10%) содержанием марганца отличаются после облагораживания высокими мех. св-вами, сравнимыми со св-вами обычных Б. б. Добавка магния (0,1%) повышает эффект старения сплава, увеличение ее (до 0,20—0,25% и более) снижает его *пластичность*. Б. б.

Таблица 1. Химический состав бериллиевых бронз

Марка бронзы	Содержание элементов, %				
	Cu	Be	Ni	Ti	Примеси
БрБ2	Основа	1,9—2,2	0,2—0,5	—	0,5
БрБ2,5	»	2,3—2,6	0,2—0,5	—	0,5
БрБНТ1,9	»	1,8—2,15	0,2—0,5	0,1—0,25	0,5
БрБНТ1,7	»	1,65—1,85	0,2—0,5	0,1—0,25	0,5

Таблица 2. Свойства бериллиевых бронз

Марка бронзы	ρ , г/см ³	$t_{пл}$, °С	λ , кал/см·сек·град	E , кгс/мм ²	$\alpha \cdot 10^6$ (при т-ре 20—300° С), град—1	$\sigma_{0,02}$, кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	$a_{цт}$, кгс·м/см ²	$HВ$
БрБ2	8,23	955	0,2	11 700	17,6	30	45	40	65	6—7	90
БрБ2,5	8,21	—	—	12 050	—	—	50	30	42	—	115
БрБНТ1,9	—	—	—	11 000	—	—	45	40	70	—	90
БрБНТ1,7	—	—	—	11 700	—	—	44	50	75	—	85

Примечание: Бронзы в закаленном состоянии.

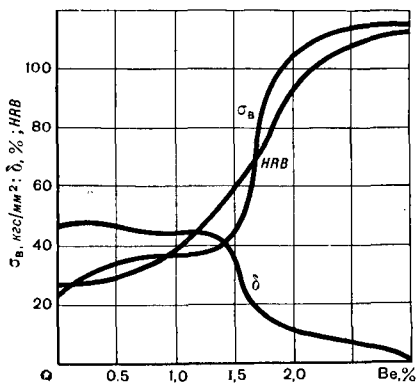
выплавают в вакуумных индукционных печах. Полуфабрикаты из Б. б. изготавливают в виде полос, лент, прутков или проволоки. Б. б. применяют для изготовления высоконагруженных подшипников, различных мембран, втулок, пружин, деталей компасов, часовых механизмов, выключателей и переключателей. Из Б. б. литьем изготавливают зубчатые колеса, шестерни, кулачки, червячные передачи, детали центробежных насосов и др. Хим. состав и св-ва Б. б. регламентируют ГОСТ 18175—72 и ТУ 48—21—96—72. См. также *Бронза*.

Лит.: Берман С. И. Меднобериллиевые сплавы, их свойства, применение и обработка. М., 1966; Мальцев И. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М., 1970; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

В. В. Казарцев.

БЕРИЛЛИЗАЦИЯ — насыщение поверхностного слоя металлических изделий бериллием. Бериллизованные слои отличаются уникальным сочетанием физико-технологических и эксплуатационных св-в: малой плотностью, жаростойкостью, термостойкостью при быстрой смене т-р, теплопоглощающей способностью, высокой прочностью, коррозионной стойкостью в атмосфере, стойкостью к истиранию, особыми ядерно-физическими св-ми. Б. подвергают поверхности стальных (реже из др.

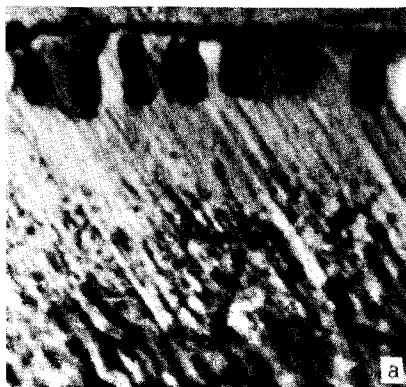
Зависимость механических свойств бериллиевой бронзы от содержания бериллия (исходный материал — холоднокатаные полосы, закаленные с температуры 780° С и состаренные при т-ре 300° С в течение 3 ч).



сплавов) изделий, на к-рых вследствие *диффузии* бериллия в толщу металла образуются слои на основе *бериллидов*, содержащих 30—70% Ве. Защитное действие бериллидов от окисления обусловлено образованием плотного поверхностного слоя на основе окиси бериллия. Диффузионное насыщение осуществляют: нагревом изделий в разреженной среде (10^{-6} мм рт. ст.) при т-ре 750—1000° С в порошкообразных бериллии, ферробериллии и т. п. (парофазным контактным насыщением); нагревом изделий в восстановительной или нейтральной среде при т-ре 750—1200° С в порошковых смесях алюминия, инертной добавки *окиси алюминия*, солей активаторов и переносчиков — хлористого или йодистого аммония (газовым контактным насыщением); нагревом поверхности изделий в пастах на основе порошков бериллия, алюминия и кремния при т-ре 1000—1050° С в течение 1—2 мин (скоростным насыщением); погружением изделий в ванну с расплавами *хлоридов*, *фторидов* щелочных металлов, солей бериллия при т-ре расплава 850—900° С или электролитическим осаждением бериллия из фторидных расплавов (жидкостным насыщением). При контактном насыщении в качестве осн. оборудования применяют электр. печь или высокочастотный нагреватель, реактор или контейнер с деталями и шихтой, вакуумные насосы либо устройства для подачи защитного газа, при жидкостном насыщении — электр. печь, ванну или электролизер с растворимым бериллиевым анодом. Нарастание фаз при Б. протекает с образованием слоев различной толщины и состава, в основном вследствие одностороннего продвижения атомов бериллия через кристаллическую решетку бериллидов к границе раздела металл основы — покрытие и последующей твердофазной хим. реакции. Узкие внутренние слои состоят из очень твердых фаз с меньшим содержанием бериллия, чем в наружных; основой наружных протяженных и более мягких слоев служат высшие бериллиды. Толщина и состав бериллизованных

слоев определяются в основном т-рой и продолжительностью процесса. Обработка изделий из низкоуглеродистой стали при т-ре 600°C в течение 100 ч сопровождается образованием слоя бериллида толщиной 200 мкм, при т-ре 1250°C в течение 1 мин — слоя бериллида глубиной до 1,5 мм. Обычно же Б. таких изделий осуществляют при т-ре $950\text{—}1100^{\circ}\text{C}$ и выдержке 4—10 ч, бериллизованный слой (толщиной 200—400 мкм) состоит из бериллидов на основе FeBe_2 или FeBe_{12} (или FeBe_5) и узких зон твердых растворов. При Б. изделий из высокоуглеродистой стали в покрытии содержится также карбид бериллия. Вследствие быстрого нагрева поверхности в пастах за 1—2 мин образуется слой толщиной 170—260 мкм. Микротвердость бериллизованных слоев стальной поверхности $800 \div 1300 \text{ кгс/мм}^2$. При Б. изделий из легированных сталей и никельхромовых сплавов типа ЖС6К наряду с бериллидами железа образуются слои на основе фаз NiBe , CoBe и CrBe_2 , микротвердость слоев до 1500 кгс/мм^2 . Часто применяют комплексную Б., используя, помимо бериллия, марганец, бор, алюминий и магний (для изделий из сплавов типа ЖС6К), с получением сложных металлидов. Б. изделий из тугоплавких, химически активных металлов также сопровождается образованием соответствующих, в основном многослойных, бериллидных покрытий. При нагреве до т-ры 750°C большинство этих металлов взаимодействует с бериллием достаточно заметно. Во время Б. поверхности циркония (т-ра 750°C , продолжительность — 4—10 ч) формируются слои толщиной до 150 мкм на основе фаз ZrBe_{13} и ZrBe_2 , микротвердость слоев $800 \div 1650 \text{ кгс/мм}^2$; в интервале т-р $600\text{—}800^{\circ}\text{C}$ (время 2—10 ч) на начальной стадии формируется слой

на основе столбчатого ZrBe_2 , затем слой на основе ZrBe_{13} и ZrBe_2 (в виде игл, разьединенных непрореагировавшим цирконием), наконец слой на основе полиэдрических зерен ZrBe_{13} (рис.). Б. поверхности тита-



Микроструктура бериллидного покрытия на поверхности циркония (поляризованный свет, $\times 400$): а — нагрев до температуры 600°C , время 2 ч, слой на основе ZrBe_2 ; б — нагрев до температуры 750°C , время 10 ч, слой на основе ZrBe_{13} , иглы ZrBe_2 ; в — нагрев до температуры 800°C , время 10 ч, слой на основе ZrBe_{13} .

при т-ре 800—900° С в течение 8 ч сопровождается формированием слоя толщиной до 50 мкм, микротвердость слоя 900—1100 кгс/мм². При Б. поверхности молибдена образуются низшие на первой стадии (т-ра 900° С) бериллиды MoBe₃ с микротвердостью до 2500 кгс/мм², затем промежуточные бериллиды MoBe₁₂ (т-ра 1100° С) и при т-ре 1200° С — высшие бериллиды MoBe₂₂; введение в шихту кремния способствует формированию слоев состава MoBeSi. При Б. поверхности ниобия в интервале т-р 900—1300° С образуются слои на основе фаз NbBe₂, NbBe₅, NbBe_{8,5} и NbBe₁₂ с соотношением толщин 1 : 2 : 5 : 36, микротвердость последних трех слоев соответственно 1600, 1430 и 1200 кгс/мм². Б. поверхности вольфрама при т-ре 1100° С сопровождается образованием слоев на основе фаз WBe₂, WBe₁₂ и WBe₂₂, микротвердость слоев соответственно 2200, 1480 и 1080 кгс/мм². Б. дает возможность значительно снижать привес (увеличение веса на единицу поверхности) образцов при окислении. При нагреве до т-ры 1100° С в течение 500 ч привес бериллизованного сплава ЖС6К уменьшается в 8—10 раз, при нагреве до т-ры 1250° С за 40 ч — в 20 раз. Привес бериллизованной меди при нагреве до т-ры 800° С в течение 15 ч уменьшается в 150 раз, тантала при нагреве до т-ры 1000° С за 14 ч — в 200 раз, титана при выдержке на воздухе при т-ре 900° С в течение 230 ч — в три — пять раз. Б. применяют в машино- и приборостроении, гл. обр. для обработки изделий из жаропрочных сплавов: теплозащитных экранов, деталей газотурбинных двигателей, тепловыделяющих элементов ядерных реакторов и т. п. См. также *Диффузионные покрытия*.

Лит.: Горбунов Н. С. Диффузионные покрытия на железе и стали. М., 1958; Металловедение и термическая обработка стали. т. 2. М., 1962; Папинов И. И. Окисление и защита бериллия. М., 1968; Папинов И. И., Тихонский Г. Ф. Физическое металловедение бериллия. М., 1968; Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. М., 1973; Огнеупоры для космоса. Пер. с англ. М., 1967; Высокотемпературные неорганические покрытия. Пер. с англ. М., 1968. А. М. Гринько. **БЕРИЛЛИЙ** (Beryllium; от греч. βήρυλλος — берилл), Be — хим. эле-

мент II группы периодической системы элементов; ат. н. 4, ат. м. 9,01218. Легкий светло-серый металл. В хим. соединениях проявляет степень окисления +2. Природный Б. состоит из стабильного изотопа ⁹Be. Искусственные изотопы: ⁶Be, ⁷Be, ⁸Be и ¹⁰Be с периодами полураспада соответственно 0,4 сек, 4,58 · 10⁶ сек, 10⁻¹⁶ сек и 2,5 · 10⁶ лет. Б. открыл в 1798 франц. химик Л. Воклен в виде окиси, выделенной из минерала берилла. Применение Б. началось в 40-х гг. 20 в. Содержание Б. в земной коре 6 · 10⁻⁴%. Известно около 40 минералов Б., из к-рых наибольшее практическое значение имеет берилл, перспективны фенакит, гельвин и деналит. Кристаллическая решетка Б. гексагональная плотноупакованная с периодами $a = 2,2855 \text{ \AA}$ и $c = 3,5840 \text{ \AA}$. Плотность (т-ра 20° С) 1,8456 г/см³; $t_{\text{пл}} 1284^\circ \text{ С}$; $t_{\text{кип}} 2450^\circ \text{ С}$; температурный коэфф. линейного расширения (т-ра 25—100° С) $10,3\text{--}13,1 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; коэфф. теплопроводности (т-ра 50° С) 0,45 кал/см · сек · град; теплоемкость 0,43 кал/г · град; электрическое сопротивление (температура 20° С) 3,6 мком · см. Температурный коэфф. электрического сопротивления (т-ра 20° С) $62,8 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$. Т-ра перехода в сверхпроводящее состояние 0,064 К. Б. — диамагнетик, его удельная магнитная восприимчивость (т-ра 20° С) порядка 10⁻⁶. Работа выхода электронов 3,920 эв. Потенциал ионизации 9,320 и 18,210 эв. Поперечное сечение захвата тепловых нейтронов 0,0090 барн на атом. Эти св-ва зависят от чистоты и структуры металла. Мех. св-ва Б. обуславливаются чистотой металла, размерами зерен, степенью анизотропности (см. *Анизотропия*), скоростью испытания. Модуль продольной упругости Б. $3 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2$, предел прочности на растяжение 20—55 кгс/мм², удлинение 0,2—2%. Обработка давлением улучшает св-ва металла. Предел прочности Б. в направлении вытяжки до 40—80 кгс/мм²,

предел текучести 25—60 кгс/мм², относительное удлинение до 4—12%. Микротвердость Б. 120 кгс/мм². Мех. св-ва в направлении, перпендикулярном вытяжке, почти не изменяются. Б. — хрупкий металл; его ударная вязкость 0,4—0,5 кгс/мм². Т-ра перехода из хрупкого состояния в пластическое 200—400° С. Заметное изменение св-в происходит при облучении Б. потоками нейтронов, интенсивность к-рых больше 10²³ нейтрон/м². Св-ва облученного Б. восстанавливаются при отжиге. На воздухе Б. медленно окисляется, покрываясь окисной пленкой. Растворяется в соляной и серной к-тах, реагирует со щелочами, с азотной к-той — только при нагревании. С водородом практически не взаимодействует во всем диапазоне т-р. При комнатной т-ре реагирует с фтором, а при повышенных т-рах — с др. галогенами и сероводородом. Взаимодействует с азотом при т-ре выше 650° С с образованием нитрида Ве₃N₂ и с углеродом при т-ре выше 1200° С, образуя карбид Ве₂C. При высоких т-рах взаимодействует с большинством металлов с образованием бериллидов. Расплавленный Б. реагирует с большинством окислов, нитридов, сульфидов и карбидов. В жидком состоянии Б. смешивается со мн. металлами (алюминием, цинком, медью, железом, никелем и др.), но не смешивается с магнием. Соли Б. хорошо растворимы в воде. Важнейшим сырьем для получения Б. служит берилл, к-рый после обработки переводят в соответствующий хлорид или фторид. Металлический Б. получают восстановлением фторида магнием при т-ре 900—1300° С или электролизом хлорида в смеси с хлоридом натрия. Дальнейшей вакуумной дистилляцией Б. очищают до 99,98%. Пластичный Б., содержащий не более 10⁻⁴% примесей (включая азот и кислород), получают электролизом хлоридных расплавов с последующей зонной плавкой. Для произ-ва компактного Б. в форме заготовок применяют методы порошковой металлургии: Б. измельчают в порошок и подвергают горячему прессованию. Кро-

ме чешуек, слитков, порошка, порошков блоков, производят и др. товарные формы Б. — цилиндры, прутки, трубы (горячим выдавливанием) и листы (горячей прокаткой). Заготовки получают также литьем Б.; при этом мех. и коррозионные св-ва улучшаются. Б. и его соединения в виде порошка токсичны, поэтому при работе с ними прибегают к спец. мерам защиты. Большое практическое значение имеют бериллия сплавы, особенно бериллиевые бронзы. Б. используют в рентгентехнике (окна рентгеновских трубок, счетчиков), атомной энергетике (отражатели, замедлители и источники нейтронов), в авиации и ракетной технике (детали сверхзвуковых самолетов, тормозные диски, носовые конусы и облоочки ракет), электро- и радиопромышленности (приборы систем наведения и управления), в металлургии (раскислитель). Кроме того, Б. применяют для бериллизации поверхности изделий. Низкая пластичность несколько ограничивает его применение. Б. — перспективный материал для ядерных реакторов на т-ры выше 700 К (топливные каналы, конструкционные и тепловыделяющие элементы). Перспективно применение соединений Б. — бериллидов.

Лит.: Папиров И. И., Тихинский Г. Ф. Физическое металловедение бериллия. М., 1968; Химия и технология редких и рассеянных элементов, т. 2. М., 1969; Дарвин Дж., Баддери Дж. Бериллий. Пер. с англ. М., 1962; Эверест Д. А. Химия бериллия. Пер. с англ. М., 1968. Н. Н. Матюшенко.

БЕРИЛЛИЯ СПЛАВЫ — сплавы на основе бериллия. Относятся к легким сплавам. В пром. масштабе впервые получены в середине 20 в. в США и Германии. Поскольку технически чистый бериллий — хрупкий металл, сплавы легируют, повышая их пластичность. По степени растворимости в бериллии легирующие элементы подразделяют на малорастворимые (алюминий, кремний, бор и др.), слабо растворимые (углерод, азот, молибден, вольфрам, цирконий, тантал, ниобий, ванадий, хром, магний и др.) и хорошо растворимые (никель, железо, кобальт, медь, платина). В зависимости от характера упрочнения бериллиевой фазы (твердорастворное или дисперсное) различают Б. с малолегированные

(на основе твердого раствора) и дисперсноупрочненные (в т. ч. с интерметаллидным упрочнением). Наиболее целесообразно комплексное легирование. По структурному признаку Б. с. подразделяют на конструкционные малолегированные сплавы со структурой твердого раствора (напр., сплавы с бета-стабилизаторами); конструктивные двухфазные композиционные сплавы с пластичной основой (напр., сплавы бериллий — алюминий — магний) и сплавы с дисперсной структурой (Be — BeO и др.). Известны Б. с. различных систем (табл.), из к-рых наиболее часто применяют сплав системы бериллий — алюминий, содержащий 38% Al. Это — высокопрочный и высокомодульный сплав заэвтектического типа с широким интервалом кристаллизации (1283—645° С). В расплаве бериллий образует с алюминием непрерывный ряд твердых растворов, однако в твердой фазе их взаимная растворимость невелика (при т-ре 400° С в бериллий растворяется менее 0,1% Al, а в алюминий — менее 0,005% Be). При т-ре ниже 645° С эти сплавы являются двухфазными — хрупкая бериллиевая фаза и пластичная алюминийбериллиевая эвтектика с содержанием алюминия ~98 ÷ 99,5%. Сплавы систем бериллий — кремний и бериллий — медь также перспективны из-за возможности образования пластичной фазы. Тоикодисперсная двухфазная структура (50—90% Be) отличается благоприятным сочетанием мех. и технологических св-в. Однако неоднородность св-в структурных составляющих способствует растрескиванию этих сплавов под действием растягиваю-

щих напряжений. Прочность и пластичность сплавов бериллия с алюминием улучшают введением магния. Сплавы системы бериллий — алюминий — магний кристаллизуются по схеме: $L \rightarrow B(\text{Be}) + L_e$ и $L_e \rightarrow B(\text{Be}) + \alpha_{\text{Al}}$, т. е. сначала кристаллизуется $B(\text{Be})$ -фаза, а затем — двойная эвтектика $B(\text{Be}) + \alpha_{\text{Al}}$. Здесь L — первичный расплав; L_e — расплав после первичной кристаллизации; $B(\text{Be})$ и α_{Al} — твердые растворы на основе соответственно бериллия и алюминия. Улучшение св-в новых двухфазных (композиционных) сплавов происходит вследствие уменьшения различия в св-вах $B(\text{Be})$ - и α_{Al} -фаз, что связано с упрочнением α_{Al} -фазы магнием. В пром-сти применяют два осн. способа получения Б. с.: индукционной плавкой в графитовых тиглях (с медной водоохлаждаемой футеровкой) или в тиглях из окиси бериллия; дуговой плавкой в медной изложнице обычного типа. Бериллиевая шихта для пром. плавки содержит, как правило, примеси: 1,6—3% BeO, 0,09—0,3% C, 0,05% Cl, 0,16—0,45% Fe, 0,08—0,26% Al, 0,15—0,2% Ni, 0,05—0,08% Si и 0,01—0,03% Cr. Из-за широкого интервала кристаллизации и склонности расплава к газонасыщению выплавка беспористых качественных слитков из сплава системы бериллий — алюминий затруднена, поэтому их получают методами порошковой металлургии. Сплавы системы алюминий — бериллий — магний

Химический состав и свойства бериллия сплавов

Содержание элементов, %				$\sigma_{\text{в}}$, кгс/мм ²	E, кгс/мм ²	δ , %
Be	Al	Cu	Mg			
Основа	36	—	—	37—39	20 000	8—9
»	43	—	—	30—35	17 000—18 000	9—13
»	38	—	—	30; 62; 44	29 500; 28 500;	—8—10; 4,5; 11
»	—	5	—	44	27 400—28 800	0,1—0,2
»	30	—	5	60	22 000—25 000	10

Примечание: Свойства сплавов системы бериллий — алюминий (38% Al) приведены соответственно для состояний после экструзии 6 : 1 и отжига, после экструзии 40 : 1 и после экструзии 40 : 1 и отжига.

производят непосредственным сплавлением *лигатур* алюминий — магний и алюминий — бериллий в индукционных вакуумных печах. Из Б. с. изготавливают полуфабрикаты в виде листов, прутков, профилей и поковок. Сплавы бериллий — алюминий и бериллий — алюминий — магний легко поддаются сварке и штампованию. Бериллийалюминиевые сплавы прессуют и прокатывают при т-ре $600\text{--}650^\circ\text{C}$ или в холодном состоянии с промежуточным *отжигом* при т-ре 600°C , а бериллийалюминиймагниевого сплавы — при т-ре не выше 450°C . Б. с. находят применение при изготовлении *бериллиевых бронз* и алюминийбериллиевых лигатур, в атомной энергетике, авиации и космической технике. Однако из-за токсичности и высокой стоимости бериллийалюминиевые сплавы используют только тогда, когда определяющим конструкционным фактором является жесткость. Бериллийалюминиймагниевого сплавы применяют также для изготовления сварных конструкций с повышенной жесткостью.

Лит.: Фридляндер И. Н. [и др.]. Закономерности изменения структуры и свойств бериллиево-алюминиевых сплавов. «Металловедение и термическая обработка металлов», 1970, № 7; Мальцев М. В. Металлография тугоплавких, редких и радиоактивных металлов и сплавов. М., 1971; Бериллий. Пер. с англ. М., 1960; Дарвин Дж., Баддери Дж. Бериллий. Пер. с англ. М., 1962.

В. Г. Ткаченко

БЕРКЛИЙ [Berkelium; от назв. города Беркли (Berkeley) в США], беркелий, Bk — искусственно полученный радиоактивный хим. элемент; ат. н. 97; относится к *актиноидам*. Наиболее стойкая степень окисления Б. в водных растворах +3, однако, в отличие от др. трансплутониевых элементов, легко окисляется до степени +4, что используют при его отделении. Впервые синтезирован и идентифицирован в 1949 амер. учеными С. Томпсоном, А. Гиорсо и Г. Сибборгом в виде изотопа ^{243}Bk , к-рый образовывается при облучении мишени из изотопа ^{241}Am альфа-частицами. Стабильных изотопов не имеет. Известно девять изотопов Б. с массовыми числами от 243 до 251.

Наиболее долгоживущий — альфа-радиоактивный изотоп ^{247}Bk и бета-радиоактивный изотоп ^{249}Bk с периодами полураспада соответственно 1380 и 314 дней. Единственным изотопом, к-рый удается получать в весовых количествах в ядерных реакторах при длительном (в течение нескольких лет) облучении плутония нейтронами, является изотоп ^{249}Bk . Изотоп ^{247}Bk получают при облучении кюриевых мишеней ускоренными альфа-частицами. Металлический Б. существует в двух модификациях: гранецентрированной кубической структуре с периодом решетки $a_0 = 4,997 \pm 0,004 \text{ \AA}$ и двойной гексагональной структуре плотной упаковки, подобной структуре альфа-лантана, с периодами решетки $a_0 = 3,416 \pm 0,003 \text{ \AA}$ и $c_0 = 11,069 \pm 0,007 \text{ \AA}$. Т-ра плавления Б. $986 \pm 25^\circ\text{C}$. Изотопы Б. применяют для исследовательских работ в области ядерной физики.

Лит.: Мясоедов Б. Ф. [и др.]. Аналитическая химия трансплутониевых элементов. М., 1972; Хайд Э. Перлман И., Сиборг Г. Ядерные свойства тяжелых элементов, в. 1. Трансурановые элементы. Пер. с англ. М., 1967; Peterson J. R., Fahey J. A., Baybarz R. D. The crystal structures and lattice parameters of berkelium metal. «Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry», 1971, v. 33, № 10; Fahey J. A., Peterson J. R., Baybarz R. D. Some properties of berkelium metal and the apparent trend toward divalent character in the transcurium actinide metals. «Inorganic and Nuclear chemistry letters», 1972, v. 8, № 1. Г. Н. Флоров.

БЕСПЕСЧАНЫЙ БЕТОН — то же, что и *крупнопористый бетон*.

БЕССЕМЕРОВСКАЯ СТАЛЬ [по имени англ. изобретателя Г. Бессемера (G. Bessemer)] — сталь, выплавляемая в бессемеровских конверторах. Используется со второй половины 19 в. Б. с. получают продувкой расплавленного *переделного чугуна* воздухом, вследствие чего в ней содержится больше, чем в *мартеновской стали*, азота (0,012—0,025%), фосфора (не менее 0,06—0,07%) и серы. По сравнению с мартеновской сталью Б. с. (при одинаковом содержании других элементов) отличается более высокими значениями пределов прочности и текучести, твердости, сопротивления износу (см. *Износостойкость*), лучшей обрабатывае-

ностью резанием, меньшей ударной вязкостью, особенно при низких т-рах, повышенной хрупкостью, большей загрязненностью неметаллическими включениями и плохой свариваемостью. При спец. раскислении (вакуумировании) и легировании сталь мало склонна к хладноломкости и старению (см. *Старение металлов*), повышается ее ударная вязкость. Из Б. с. изготавливают преим. крупные сортовые профили, проволоку больших диаметров, не подлежащую холодной протяжке, *автоматную сталь*, рельсы, режме — цельнотянутые трубы для хим. и нефтеперегонных заводов. Если трубы эксплуатируются при больших давлениях и высоких или очень низких т-рах, Б. с. для них не используют.

Лит.: Явойский В. И. Теория процессов производства стали. М., 1967; Конвертерные процессы производства стали. М., 1970; *Металлургия стали*. М., 1973. Н. Я. Ищук.

БЕССЕМЕРОВСКИЙ ЧУГУН — чугун, переделываемый в сталь в бессемеровских конверторах; вид *переделного чугуна*. Используется со второй половины 19 в. Характеризуется низким содержанием фосфора и серы (табл.).

Содержание кремния, выгорание к-рого в конверторе обеспечивает тепло для протекания процесса, выше, чем в *мартеновском чугуне*. Чтобы получить необходимое количество кремния, рудную нагрузку устанавливают несколько ниже, чем при выплавке мартеновского чугуна. По содержанию марганца, фосфора и серы чугун подразделяют соответственно на группы (I, II, III), классы (А, Б, В) и категории (I, II, III, IV). Для выплавки Б. ч.

используют пихту, содержащую окислованный агломерат (90—100%), спеченный из малофосфористой руды (не более 0,022% Р). Поставляют Б. ч. в жидком виде и в виде чушек массой не более 55 кг. Марки и хим. состав Б. ч. — в ГОСТе 805—69.

Лит.: Лапидский В. И., Ступарь Н. И., Легкоступ О. И. *Металлургия стали*. М., 1963; Ефименко Г. Г., Гиммельфарб А. А., Левченко В. Е. *Металлургия чугуна*. К., 1974. В. И. Литовка.

БЕССТРУЖКОВЫЙ АНАЛИЗ — анализ хим. состава металлов (сплавов), проводимый без нарушения целостности их образцов; метод *химического анализа*. Разработан в 30-х гг. в СССР. Б. а. заключается в анализе раствора исследуемого металла в капле растворителя, нанесенного на поверхность образца. *Качественный анализ* раствора проводят с помощью *капельного анализа*, а его *количественный анализ* — с помощью колориметрического анализа (см. *Фотометрический анализ*). Чтобы раствор не расплывался на поверхности образца, каплю растворителя помещают в парафиновое ограждение (ванночку). С поверхности образца раствор снимают капилляром, осуществляя на фильтровальной бумаге или в капельных пробирках качественное определение хим. состава. При проведении количественного анализа стандартные образцы растворяют в таких же условиях, как и исследуемые. Затем оба раствора переносят в градуированные капельные пробирки и после соответствующей хим. обработки растворов определяют, сравнивая их

Химический состав бессемеровских чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %										
	Si	Mn			P			S			
		Группа чугуна			Класс чугуна			Категория чугуна			
		I	II	III	A	Б	B	I	II	III	IV
Б1	0,91—1,40	0,30—0,70			0,06	0,07	—	—	—	0,04	—
Б2	0,90	0,30—0,70			0,03	0,07	—	—	—	0,04	0,06

окраску, содержание металла в образце. Б. а. используется для определения хим. состава мелких изделий, сортировки черных и цветных, особенно драгоценных металлов и их сплавов. Отличается быстротой выполнения (продолжительность качественного анализа составляет $1 \div 3$ мин, количественного — $10 \div 30$ мин), небольшим расходом реактивов и простотой аппаратуры. Относительные погрешности определения не превышают 5—10%.

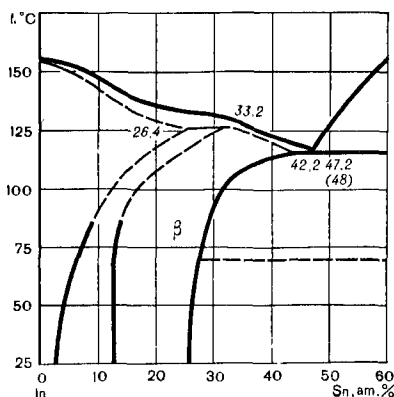
Лит.: Тананаев Н. А. Бесстружковый метод анализа черных, цветных и драгоценных сплавов. Свердловск — М., 1948; Лошкарёв А. Г. Бесстружковый абсолютный метод анализа металлов и сплавов. «Заводская лаборатория», 1958, № 8.

[Г. Т. Михальчин.]

БЕТА-ФАЗА (от греч. $\beta\eta\tau\alpha$ — название второй буквы алфавита) — 1) В х и м. э л е м е н т а х — фаза, образующаяся преимущественно из *альфа-фазы* при нагревании (продукт первого полиморфного превращения) или из расплава либо *гамма-фазы* при охлаждении (см. *Полиморфизм*). Обозначение Б.-ф. ввел франц. металлург Ф. Осмоид в 1885. Б.-ф., напр., титана образуется из *альфа-фазы* при нагревании до т-ры 882°C или из расплава при т-ре 1665°C . Б.-ф. марганца возникает из *альфа-фазы* при нагревании до т-ры 727°C или из *гамма-фазы* при т-ре 1095°C в процессе охлаждения. 2) В с л а в а х — фаза, представляющая собой *твёрдый раствор*, образующийся преим. из твёрдого раствора *альфа-фазы* при нагревании или из расплава либо твёрдого раствора *гамма-фазы* при охлаждении. Область существования Б.-ф. регулируют введением легирующих элементов. Так, добавки в титан молибдена, ванадия, тантала или хрома расширяют эту область, добавки алюминия, бора или кислорода сужают ее, повышая т-ру полиморфного превращения. *Кристаллическая структура* Б.-ф. соответствует структуре Б.-ф. элемента-растворителя. Тип, механизм превращения и область существования Б.-ф. определяются природой компонентов, хим. составом сплавов, предварительной термической и мех. обработкой, скоростью

охлаждения. Превращение Б.-ф. при охлаждении обуславливает мех. св-ва многих сплавов. Так, при закалке *титана сплавов*, содержащих около 10% Мо или 10% Cr, из Б.-ф. образуются метастабильные мартенситные фазы (см. *Мартенсит*), представляющие собой пересыщенный твёрдый раствор легирующих элементов в *альфа-титане*. Б.-ф. наз. также промежуточной фазой, образующуюся в двухкомпонентных сплавах (рис.). Она составляет класс электронных соединений с отношением числа валентных электронов к числу атомов в элементарной ячейке, равным 3 : 2. Обозначение Б.-ф. для электронных соединений ввел англ. металлург В. Юм-Розери в 1926. Промежуточная Б.-ф. образуется из двух металлов, мало отличающихся величинами атомных диаметров. Один из металлов является одновалентным (напр., медь, серебро, золото) или переходным с валентностью от 0 до 2, другой — простым металлом с валентностью от 2 до 5 (бериллий, магний, кадмий, цинк, ртуть, алюминий, индий, кремний, олово, мышьяк, сурьма). Структура промежуточной Б.-ф. — с решеткой объемноцентрированной кубической (Cu_3Al , CuZn , CuBe , FeAl , NiAl), плотноупакованной гексагональной (Cu_3Ga , AgZn , AgCd , Au_5Sn и др.) или сложной кубической типа бета-марганец (Ag_3Al , Au_3Al , CoZn_3). Нередко структура Б.-ф. зависит от т-ры. Так, решетка Ag_3Al при высо-

Бета-фаза на диаграмме состояния индий — олово.



той — тр — объемноцентрированная кубическая, при средней температуре — плотноупакованная гексагональная, при низкой температуре — сложная кубическая типа бета-марганец.

Лит.: Лившиц Б. Г. Металлография. М., 1971; Юм-Розери В., Рейнор Г. В. Структура металлов и сплавов. Пер. с англ. М., 1959.

В. Г. Иванченко.

БЕТО́Н (франц. *béton*, от лат. *bitumen* — смола) — искусственный каменный материал, получаемый в результате твердения смеси *вяжущего материала* (с водой, реже без нее), *заполнителей* и, если необходимо, специальных *добавок*. Один из древнейших строительных материалов. Распространению его способствовало создание в 19 в. *железобетона*. Состав бетонной смеси рассчитывают и подбирают в зависимости от требуемых св-в материала. Смесь тщательно гомогенизируют в бетоносмесителях, укладывают в формы или опалубку и уплотняют механизированным способом. Отформованный Б. затвердевает в естественных, а с целью ускорения твердения — в искусственных тепловлажностных условиях (пропаривание, автоклавная обработка, электропрогрев, беспаровой прогрев, предварительный разогрев и др.) с соблюдением специальных режимов или введением комплекса химических добавок. Б. классифицируют по объемной массе, типу вяжущего материала, виду заполнителя, назначению и крупности заполнителя. В зависимости от объемной массы различают Б. особо тяжелый, тяжелый, легкий и особо легкий. Объемная масса особо тяжелого Б. более 2500 кг/м^3 . Изготавливают его преимущественно на *портландцементе*, используют для возведения спец. защитных (от радиоактивного излучения) сооружений (см. также *Баритобетон*). Для улучшения защитных св-в вводят также заполнители, включающие повышенное количество связанной воды (такой бетон наз. гидратным), водородсодержащие добавки или др. добавки, содержащие элементы с небольшой атомной массой (напр., соли лития, бора). Объемная масса тяжелого Б. (наиболее распространенного вида бетона) от 1800 до 2500 кг/м^3 ; заполнители — из обычных плотных гор-

ных пород; *песок* — кварцевый или полевошпатный, реже — из плотного *известняка*; *гравий* или *щебень* — из изверженных пород (гранита и его разновидностей) или плотных осадочных (карбонатных, *песчаника*). К заполнителям предъявляют спец. требования, касающиеся *гранулометрического состава* и чистоты от посторонних примесей. В качестве вяжущих материалов в тяжелом Б. используют портландцемент и его разновидности (быстротвердеющий, пластифицированный, гидрофобный, сульфатостойкий), а также *шлакопортландцемент*, быстротвердеющий *шлакопортландцемент*, *пуццолановый портландцемент*. *Глиноземистый цемент* применяют при восстановительных, аварийных и др. работах, и только без тепловой обработки. Используют также спец. цементы: безусадочный, *напрягающий цемент* и др. У тяжелого Б. плотная структура, обеспечиваемая рациональным подбором зернового состава смеси мелкого и крупного заполнителей, достаточным (без перерасхода) насыщением цемента, минимально необходимым содержанием воды и надлежащим уплотнением смеси при укладке. Его применяют в бетонных и железобетонных изделиях и конструкциях пром. и гражданских зданий, в гидротехнических, транспортных и др. сооружениях (см. также *Тяжелый бетон*). Объемная масса (в сухом состоянии) легкого Б. от 500 до 1800 кг/м^3 , готовят его на искусственных и естественных пористых неорганических заполнителях. К легким относится также нек-рые разновидности *ячеистого бетона*. В зависимости от вида крупного заполнителя различают *керамзитобетон*, *аглопоритобетон*, *пемзобетон*, *шлакопемзобетон*, *туфобетон*, *вермикулитобетон*, *шлакобетон* и т. п. Сочетание названий различных видов крупного и мелкого заполнителей определяет составное название легкого Б. (напр., *керамзитоперлитобетон*, *термозитозолобетон*). В качестве вяжущих материалов в легком Б. используют те же цементы, что и в тяжелом. В состав легкого

Б. вводит добавки с целью повышения удобоукладываемости смеси, поризации растворной части (снижения объемной массы при одновременном повышении морозостойкости), снижения расхода цемента и ускорения твердения (см. также *Легкий бетон, Газозобетон, Газошлакобетон, Газошлакозобетон, Пензобетон, Пеношлакобетон, Пеношлакозобетон*). Объемная масса (в сухом состоянии) особо легкого Б. до 500 кг/м^3 . К нему относятся Б. ячеистые и на искусственных весьма легких заполнителях (вспученных перлите и вермикулите, пенополистироле и др. См. также *Газобетон, Пенобетон, Перлитобетон*). Особо легкий Б. и его разновидности применяют гл. обр. как *теплоизоляционные материалы*. По типу вяжущего материала различают: *цементный бетон* — на клинкерных цементах (портландцемент и его разновидности, другие цементы с использованием клинкера, глиноземистый цемент); *силикатный бетон* (автоклавного твердения) — на известково-песчаном вяжущем; *гипсбетон* — на гипсовом и гипсоцементнопуццоловом вяжущих; *шлаковый бетон* — на шлаковых бесклинкерных вяжущих автоклавного и безавтоклавного твердения (см. также *Шлакощелочной бетон*); *кислотостойкий бетон* — на вяжущем из жидкого (растворимого) стекла с добавками кремнефтористого натрия; *полимерцементный бетон* — на портландцементе с добавками полимерных материалов; *полимербетон* (пластбетон) — на вяжущем из органических полимеров; *асфальтобетон* и *дегтебетон* — на вяжущих битумных (нефтяных, сланцевых, природных) и дегтевых (каменноугольных и др.). *Полимерцементный Б.* — цементный бетон на плотных или пористых заполнителях с полимерными добавками (поливинилацетатной эмульсией, латексами, кремнийорганическими соединениями типа силикатов натрия и др.). Тип и количество добавок определяются в зависимости от назначения и требуемых св-в бетона. Добавки улучшают его свойства, особенно если вступают в ак-

тивное взаимодействие с цементом (или продуктами его реакции с водой) и участвуют в образовании структуры цементного камня и бетона. Так, введение добавок (до 20% от массы цемента) повышает прочность на растяжение и изгиб в 1,5—3 раза, на сжатие — на 20—40%. Вяжущая часть представляет собой композицию минер. вяжущего, затворенного водой, и полимера. Минер. вяжущим служат портландский, глиноземистый, пуццолоановый, магнезиальный и др. цементы. Полимерцементный Б. применяют для возведения конструкций, к-рые должны отличаться повышенной прочностью и повышенной сопротивляемостью динамическим воздействиям и растяжению, а также морозостойкостью, *коррозионной стойкостью и износостойкостью*. По назначению различают Б. общестроительный (тяжелый и легкий Б. с разновидностями) и специальный (*гидротехнический бетон, дорожный, химически стойкий, жаростойкий бетон, декоративный*). Дорожный Б. отличается повышенными прочностью, деформативной способностью, морозо- и износостойкостью. Его предел прочности на растяжение при изгибе — не ниже 40; 45; 50 и 55 кгс/см^2 (марки на сжатие соответственно 300; 350; 400 и 500). Морозостойкость элементов однослойных или верхнего слоя двухслойных покрытий — 100, 150 и 200 циклов, что достигается применением гидрофобного, *пластифицированного портландцемента* марки не ниже 500 с содержанием трехкальциевого алюмината не более 10% и с добавкой до 15% молотого доменного шлама. Заполнители — из изверженных пород прочностью не менее 1200 кгс/см^2 , из осадочных — не менее 800 кгс/см^2 , с прочностью на растяжение в 1,5—2,5 раза большей, чем прочность бетона, и морозостойкостью не ниже, чем у бетона. Щебень и гравий промытые, без органических примесей, с содержанием глинистых частиц не более 1%. Предельная крупность заполнителя для верхнего слоя — 20 мм. Разновидностью дорожного является износостойкий Б., или *стальбетон*, содержащий стальную или чугунную стружку, обрезки проволочки, карборундовый песок. Хи-

мически стойкий Б. изготовляют на различных вяжущих и заполнителях в зависимости от вида и степени агрессивности эксплуатационной среды. Для солестойкого, Б. применяют сульфатостойкий портландцемент или др. спец. портландцементы. Химически стойкий Б. отличается большой плотностью, обеспечиваемой низким водоцементным отношением (не выше 0,40—0,45). Прочность на сжатие такого Б. — не менее 200 кгс/см², водонепроницаемость — не ниже В-4. Для кислотостойкого бетона при повышенной (более 10%) концентрации к-т в качестве вяжущего применяют растворимое натриево- или калиевое стекло (см. *Жидкое стекло*), с добавлением 10—15% от массы стекла ингибитора твердения — кремнефтористого натрия и наполнителя (тонкомолотого *диабазы*, *андезита*, *кварца*, *базальта*). Объемная масса такого Б. — не ниже 2000 кг/м³, прочность на сжатие не менее 200 кгс/см², на растяжение — 20 кгс/см². Плотный Б. на портландцементе и обычных заполнителях (кварцевом песке, щебне изверженных пород) достаточно стоек при воздействии слабых растворов щелочей, а на карбонатных плотных заполнителях (известняке, *доломите*) противостоит действию щелочей повышенной концентрации. Декоративный Б. применяют для создания лицевых поверхностей крупных блоков и панелей наружных стен, а также для внутренней отделки зданий (лестничных площадок, ступеней, подоконников, полов). Фактура может быть мелко мозаичной, заполнителем служит крупная крошка твердых и плотных пород (гранита, *мрамора*, *лабрадорита*) определенного зернового состава, с миним. количеством песка или без него. Особенностью состава такого Б. является высокая степень насыщения заполнителем с тем, чтобы обнажаемая поверхность не менее чем на 60—65% была представлена горной породой. Вяжущим для декоративного Б. темных тонов служит обычный портландцемент, для Б. светлых тонов — белый портландцемент или цветные на его основе. Необходимую окраску получают также смешиванием обычного или белого цемента с тонкоизмельчен-

ными щелоче- и светостойкими природными минер. пигментами (2—5% от массы цемента), содержащими большое количество красящих окислов (железного *сурика*, окиси хрома, перекиси марганца и т. п.). Прочность на сжатие декоративного Б. — 150—200 кгс/см², *водопоглощение* — не выше 6—8%, морозостойкость — в зависимости от климатических условий. Перспективно произ-во декоративных навесных бетонных плит типа «брекчия». Формуемые из бетонной смеси блоки после затвердевания распиливают на плиты (толщиной не менее 20—25 мм), к-рые затем шлифуют и полируют. Прочность плит на сжатие — не менее 300 кгс/см², плотность — максимально возможная, а морозостойкость — в зависимости от назначения облицовки (внутренняя или наружная) и климатических условий. Экономичность таких изделий обусловливается утилизацией отходов, образующихся при добыче декоративных каменных пород. В зависимости от крупности заполнителя различают Б. крупно- и мелкозернистый. Верхний предел крупности заполнителя определяется наименьшим сечением элемента конструкции, расположением и содержанием в нем арматуры (или отсутствием ее), а также технологическими требованиями произ-ва. В крупнозернистом Б. используют заполнитель крупностью от 10 до 150 мм. При возведении массивных сооружений с целью экономии цемента и снижения усадочных и тепловых напряжений в уложенную бетонную смесь нередко погружают крупные (300 мм и более) камни (бутобетон, *каменбетон*). В мелкозернистом Б. заполнителем служит песок с крупностью зерен до 5 мм (песчаный бетон) или песок и щебень крупностью до 10 мм. Крупность, гранулометрический состав, прочность, макроструктура поверхности и водопоглощение определяют плотность и прочность упаковки зерен заполнителя и сцепления между ними и цементным камнем. Мелкозернистый Б. отличается от обычного повышенной пустотностью и большей удельной поверхностью запол-

нителя, что предопределяет увеличение расхода воды и цемента, изменения физико-мех. характеристики мелкозернистого материала. Повышенная суммарная удельная поверхность заполнителей обуславливает большую однородность *макроструктуры бетона* (если достаточно однородна бетонная смесь), повышает (на 10—20%) прочность на растяжение и изгиб по сравнению с обычным Б., обеспечивает лучшее сопротивление вибрационно-динамическим нагрузкам. Чтобы улучшить качество мелкозернистого Б., песок применяют в виде плотной смеси из нескольких фракций, а обычный песок обогащают. Прочность и морозостойкость Б. из умеренно жестких мелкозернистых смесей повышают виброперемешиванием, виброуплотнением, прессованием и трамбованием. Мелкозернистый Б. применяют в конструкциях с высокой степенью насыщения арматурой, а также в тонкостенных конструкциях криволинейного очертания, напр. в армоцементных. Использование такого Б. целесообразно в районах, где нет достаточно хорошего и дешевого крупного заполнителя. Некоторые основные свойства Б. приведены в ГОСТах 12 730—67, 10 268—70, 18 105—72 и 8424—72. См. также *Золоторитбетон*, *Крупнопористый бетон*, *Стекловитбетон*, *Торкретбетон*, *Шприцбетон*, *Золотбетон*, *Структура бетона*.

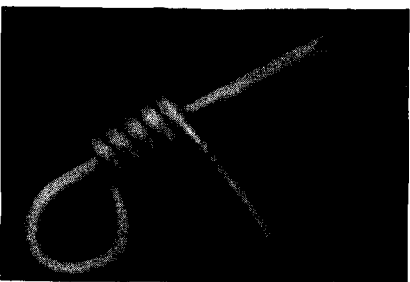
Лит.: Десов А. Е. Вибрированный бетон. М., 1956; Баженов Ю. М. Высокопрочный мелкозернистый бетон для армоцементных конструкций. М., 1963; Миронов С. А., Малинина Л. А. Ускорение твердения бетона. М., 1964; Саталкин А. В. [и др.]. Цементно-полимерные бетоны. Л., 1971; Технология бетонных и железобетонных изделий. М., 1972. Н. Р. Чермашин.

БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ (от лат. bis — дважды), **б и м е т а л л ы** — материалы, состоящие из двух разнородных, прочно соединенных между собой металлов или сплавов. Различают Б. м. двух- и многослойные. Применяются с целью экономии дорогостоящих и дефицитных металлов (сплавов) или как материалы со спец. свойствами. Для промышленных целей испол-

зуются с конца 19 в., когда прокаткой были получены первые Б. м. — листы алюминий — сплавы алюминия. Отличаются редким сочетанием таких св-в, как высокая *прочность* и *жаропрочность*, *износостойкость*, низкое *электрическое сопротивление* и др. Б. м. изготавливают с применением и без применения пластического деформирования. К первому способу относятся прессование (выдавливание), прокатка, прессовая сварка, волочение, сварка трением, импульсная (взрывом) и диффузионная сварка (см. *Сварка*). Для получения прессованных и прокатанных Б. м. применимы также методы порошковой металлургии. Ко второму способу относятся литье, электрошлаковая сварка, наплавка, *пайка*, сварка плавлением, *металлизация* напылением, химические и электрохимические покрытия, термодиффузионное насыщение и осаждение из газовой фазы. В основе процесса соединения металлов (сплавов) лежит особенность металлической связи, заключающаяся в том, что электроны внешних орбит их атомов слабо связаны с ядром. При достаточном сближении свободные электроны атомов образуют общее электронное облако, к-рое, взаимодействуя с ионизированными атомами, создает сцепление между металлами. Таким образом, прочность соединения обусловлена действием межатомных сил при сближении чистых поверхностей металлов на расстояние, близкое к межатомному. Существуют гипотезы соединения металлов: рекристаллизационная, диффузионная, пленочная, энергетическая и дислокационная. При производстве Б. м. обработки давлением контактирующие поверхности должны быть чистыми, свободными от окисных и др. адсорбированных пленок; сжимающие напряжения должны обеспечивать сближение соединяемых поверхностей на расстояние, близкое к межатомному; для распространения первоначально точечных контактов на всю площадь контакта соединяемых металлов необходимо создать соответствующие условия; напряженно-деформированное состояние и физико-хим. свойства должны быть наиболее благоприятными для соединения материалов. При горячем совместном деформи-

риванию следует учитывать роль диффузионных процессов. Важнейший показатель эффективности применения Б. м. — снижение расхода металлов вообще и дорогостоящих в частности. У однослойных сосудов высокого давления (на 350 ат) толщина стенки из стали марки 1Х18Н10Т составляет 300 мм, в то время как у эксплуатируемых в тех же условиях двухслойных сосудов с прочным корпусом из стали марки 25ХНЗМ толщина стенки может достигать 100—120 мм (вместе с 5—10% плакирующего слоя). В хим. машиностроении при изготовлении крупногабаритных конструкций вместо листов нержавеющей стали толщиной до 40 мм применяют биметаллы из более дешевой стали с поверхностным слоем из нержавеющей стали, что позволяет экономить до 80% нержавеющей стали. Стоимость биметаллических антикоррозионных листов ниже стоимости однослойных листов на 50—60%. Ценное свойство Б. м. — способность самозатачиваться вследствие различной износостойкости слоев (более твердые слои образуют обновляющее лезвие необходимой остроты) — используют в режущих деталях почвообрабатывающих машин. Стойкость, напр., биметаллического лемеха в три раза выше стойкости однослойного, масса его меньше в два раза. Покрытие, напр., стальных труб сплавом, содержащим медь и борид тория, делает их пригодными для аппаратов, эксплуатируемых при высоких т-рах. Медную проволоку, покрытую слоем серебра, используют в радиочастотных кабелях и ультракоротковолновых установках.

Биметаллический материал: проволока сталь — алюминий.



Термостойкая лакированная проволока медь — алюминий с антидиффузионной прослойкой из серебра или железа служит обмоточным проводом в устройствах с кратковременным нагревом до т-ры 350° С. Проволоку сталь — медь и сталь — алюминий (рис.) применяют в проводах воздушных линий электропередачи, в телефонной связи, железнодорожной сигнализации и для силовых линий. Биметаллическая проволока сталь — алюминий прочна, пластична, отличается хорошей электропроводностью. Широко распространены Б. м. из стали, покрытой медью, никелем и их сплавами в виде плакированных (см. Плакирование) листов, многослойные прутки и полосы, ленты, трубы, профили и проволока из различных цветных металлов. Для создания тепловых реле используют Б. м., содержащие металлы и сплавы с различным коэфф. термического расширения, напр. латунь и инвар (см. также Термобиметаллические материалы). Некоторые Б. м. применяют для сохранения точности хода ручных и карманных часов при изменении т-ры. Биметаллы позволяют улучшать эксплуатационные св-ва изделий. Так, применение в моторах мотоциклов К-650 биметаллических цилиндров чугуна — алюминий дало возможность повысить мощность двигателя, его экономичность, надежность и долговечность. Использование трехслойных биметаллических лент медь — железо — медь для экранировки коаксиальных кабелей связи повысило качество телевизионных передач. Несколько ограничивает применение Б. м. относительно сложная технология соединения разнородных металлов, подчас с резко отличными хим. составом, физ. и мех. свойствами. См. также Антифрикционные материалы, Износостойкие материалы, Коррозионностойкие материалы, Схватывание.

Лит.: Семенов А. П. Схватывание металлов. М., 1958; Аркулис Г. Э. Совместная пластическая деформация разных металлов. М., 1964; Астров Е. И. Плакированные многослойные металлы. М., 1965; Голованенко С. А., Меандров Л. В. Производство биметаллов. М., 1966; Крагель-

ский И. В. Трение и износ. М., 1968; Гринберг Б. Г., Кнышев Ю. В. Многослойные металлы в технике. М., 1969; Король В. К., Гильденгорн М. С. Основы технологии производства многослойных металлов. М., 1970.

Г. А. Виноградов.

БИОТИТ [по имени франц. физика Ж. Б. Био (J. B. Biot)], $K(Mg, Fe)_3(OH, F)_2[AlSi_3O_{10}]$ — минерал класса *силикатов*. Разновидности: флогопит, сидерофиллит, истонит, лепидомелан, тетраферрифлогопит, тетраферрибиотит и др. Хим. состав сложный. Калий частично замещается натрием и кальцием, а также барием, рубидием, цезием. Двухвалентное железо замещается магнием, алюминием и литием; OH^- замещается фтором и хлором. Структура слоистая, сингония моноклинная, вид симметрии призматический. Наиболее распространены полилиты 1М и 3Т. Крупные кристаллы таблитчатые, столбчатые, псевдогексагональные; обычно встречается в виде чешуйчатых и листоватых агрегатов. Двойники по слюдяному закону. Спайность (см. *Спайность минералов*) весьма совершенная по (001). *Плотность* 2,7—3,3 г/см³. *Твердость* 2,5—3. *Эластичный*. Цвет (см. *Цвет минералов*) бурый, красновато-бурый, зеленовато-бурый, черный. Прозрачен в тонких пластинках. Сильный *плеохроизм*: по $N_g (\approx N_m)$ темно-бурый, красно-бурый, зеленовато-бурый; по N_p светлый соломенно-желтый, оранжевый, зеленовато-бурый. Б. двухосный, положительный; $2V = 0-35^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,610-1,697$; $n_m = 1,609-1,696$; $n_p = 1,571-1,616$; $n_g - n_p = 0,039-0,081$. Физ. и оптические св-ва Б. определяются содержанием Fe^{2+} , Fe^{3+} и Ti. Б. и его разновидности находятся почти во всех типах метаморфических и магматических пород — в кристаллических сланцах, *гнейсах*, *гранитах*, *гранодиоритах*, *диоритах* и др.; крупные кристаллы — в *пегматитах*. Методом гидротермального синтеза и кристаллизации из расплава получены все разновидности минера-

ла. Б. применяется в сухих смазках, для изготовления калиброванных шайб в оптических приборах, как декоративная добавка в цемент или (со смолами) для внутренней и наружной отделки зданий. По Б. определяют абсолютный возраст горных пород калий-аргоновым и рубидий-стронциевым методами. Флогопит служит заменителем мусковита.

Лит.: Волков К. И., Загибалов П. Н. Технологии слюды. М., 1958; Трегер В. Е. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов. Пер. с нем. М., 1958; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 3. Пер. с англ. М., 1966.

И. Б. Щербаков.

БИРЮЗА (персид. *фирузе*), $CuAl_6(OH)_8[PO_4]_4 \cdot 4H_2O$ — минерал класса *фосфатов*. *Синоним*: *каллоит*. Хим. состав непостоянный: алюминий может замещаться трехвалентным железом, а медь — цинком. Конечные железо- и цинк-содержащие члены: $xAl_2Si_2O_7 \cdot yFe_2Si_2O_7 \cdot zCuFe_2Si_2O_7$ и $4H_2O$. Структура каркасная, сингония триклинная, вид симметрии пинакоидальный. Кристаллы короткостолбчатые. Обычно образует плотные скрытокристаллические массы, натежные почковидные агрегаты, сталактиты, корки, прожилки, вкрапленники. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (001), средняя — по (010). *Плотность* 2,8—3,2 г/см³. *Твердость* 5—6. Цвет (см. *Цвет минералов*) небесно-голубой, голубовато-зеленый до яблочно-зеленого и серо-зеленого. Голубой (бирюзовый) цвет характерен для образцов, состав к-рых близок к теоретическому. Зеленые, желтые и бурые разности содержат примесь трехвалентного железа. Черта зеленовато-белая. Блеск (см. *Блеск минералов*) матовый, восковой. Излом (см. *Излом минералов*) раковистый. Непрозрачная, в тонких сколах просвечивает. *Плеохроизм* от бесцветного до бледно-синеватого. Б. двухосная, положительная; $2V = 40^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,65$; $n_m = 1,62$; $n_p = 1,61$; $n_g - n_p = 0,04$. Б. образуется в экзогенных условиях в районах с сухим климатом при воздействии поверхностных

вод (содержат фосфаты меди) на глиноземистые изверженные и осадочные породы. Получена сплавлением *малахита* с водной окисью глинозема и фосфорной кислотой при $t=100^{\circ}\text{C}$. Лучшие разновидности плотной Б. ярко-голубого и синевато-голубого цвета используют как драгоценный камень; другие — для произ-ва недорогих украшений и поделок.

Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Драгоценные и цветные камни как полезное ископаемое. М., 1973; Ферсман А. Е. Рассказы о самоцветах. М., 1974. В. Т. Латыш.

БЛЕСК МИНЕРАЛОВ — св-во минералов отражать падающий на них свет. Вследствие несложности визуальной оценки и характерности блеск является одним из основных диагностических признаков минералов. В общем случае особенность блеска определяется спецификой отражения света прозрачными и непрозрачными минералами. Для прозрачных или полупрозрачных минералов (галоидов, силикатов, карбонатов, сульфатов и др. кислородных соединений) количественная шкала блеска характеризуется следующими ступенями повышения: полустеклянный, стеклянный, полуалмазный, алмазный и высший алмазный.

Для непрозрачных минералов (самородных металлов, интерметаллических соединений, *арсенидов*, *антимонидов*, *висмутидов*, *сульфидов* и их аналогов) количественное повыше-

ние блеска определяется такими ступенями, как полуметаллический, металлический и высший металлический. В физ. смысле блеск определяется интенсивностью световых лучей, отраженных от поверхности минерала (граней, спайных сколов), и количественно выражается показателем (или коэфф.) отражения R . Для прозрачных и полупрозрачных минералов показатель отражения является в основном функцией показателя преломления n и определяется по ф-ле Френеля $R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$.

У непрозрачных минералов блеск в значительной степени зависит, кроме того, от коэфф. поглощения K , к-рый для сильно отражающих сред (напр., самородных металлов) определяется затухание световых волн вследствие скин-эффекта с отбрасыванием большей части потока энергии в виде вторичных, отраженных волн. Для таких минералов показатель отражения выражается ф-лой Бэра

$$R = \frac{(n-1)^2 + n^2 K}{(n+1)^2 + n^2 K}$$

Из ф-л Френеля и Бэра следует, что сильный блеск (алмазный или металлический) характерен для минералов с высокими значениями n или R (табл.).

Систематика блеска минералов

Блеск	Значение n или R	Минерал
Полустеклянный	$n = 1,3-1,5$	Лед, криолит, флюорит, натролит, содалит, сильвин
Стеклянный	$n = 1,5-1,8$	Гипс, ортоклаз, галит, кварц, берилл, мусковит, кальцит, шпинель и др.
Полуалмазный	$n = 1,8-2,2$	Альмандин, сидерит, циркон, касситерит, сера, церуссит
Алмазный	$n = 2,2-2,7$	Сфалерит, ванадинит, крокоит, алмаз, гриновит, анатаз, брукит
Высший алмазный	$n = 2,7-3,4$	Рутил, аурипигмент, кушрит, киноварь, прустит
Полуметаллический	$R = 8-20\%$	Хромит, ильменит, колумбит, гетит, магнетит, уранинит
Металлический	$R = 20-50\%$	Графит, борнит, гематит, молибденит, пирротин, антимонит, галенит
Высший металлический	$R = 50-95\%$	Кобальтин, пирит, никелин, арсенопирит, осмий, платина, золото, медь, серебро

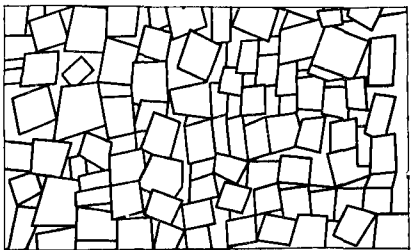
В минеральном мире чаще всего встречается стеклянный блеск (до 70% минер. видов), реже всего — высший алмазный (до 1%) и высший металлический (до 2,5%). Блеск минер. агрегатов зависит от состояния поверхности и размера составляющих их индивидов (кристаллов, зерен). С увеличением размеров зерен блеск понижается (в отраженном от образца свете возрастает доля диффузного отражения за счет отражения зеркального); стеклянный и металлический блеск приобретает тусклые оттенки, к-рые можно охарактеризовать как восковой, жирный или смолистый блеск (мелкозернистые и скрытокристаллические агрегаты магнетита, галенита, сфалерита, серы, кальцита, графита и др.). Крайним пределом понижения блеска является блеск матовых поверхностей высокодисперсных агрегатов (напр., *охры, каолина*), отличающихся тонкой пористостью (рыхлостью). Аналогичный эффект наблюдается для *излома минералов* с бугорчатой, ямчатой или раковистой поверхностью. Так, у кварца, обладающего характерным стеклянным блеском, в изломах нередко жирный блеск. У некоторых минер. агрегатов, отличающихся явно выраженной ориентацией составляющих их индивидов, происходит своеобразное явление, связанное с блеском, — т. н. отлив. Шелковистый отлив характерен для минер. агрегатов с параллельноволокнистым строением (*асбеста, селенита, малахита, рибекита, крокидолита*), а также для некоторых разнородностей минералов, содержащих ориентированные мех. включения (тигровый и кошачий глаз — разности кварца с включениями волокнистых и шестоватых кристаллов гематита, асбеста и крокидолита). Перламутровый отлив наблюдается в некоторых минералах с весьма совершенной спайностью (напр., в слюдах, тальке) (см. *Спайность минералов*). Яркий и сильный блеск является часто одним из основных критериев ювелирной ценности минералов (*алмаза, шпинели, гранатов, корунда, оливина, гематит-красавика* и др.). Высоко ценит-

ся красивым волокнистым отлив некоторых минералов (малахита, селенита, разностей кварца), используемых в качестве декоративных и поделочных материалов.

Лит.: Бетехтин А. Г. Классификация блесков минералов. «Доклады АН СССР», 1945, т. 47, № 4; Григорьев Д. П. Блеск минералов. «Природа», 1948, № 9; Поваренных А. С. К вопросу о классификации блесков минералов. В кн.: Минералогический сборник Львовского геологического общества, № 3. Львов, 1951; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971. А. Н. Платонов.

БЛОКИ МОЗАИКИ — участки *монокристалла* или зерна (субзерна) *поликристалла*, отличающиеся ненарушенной кристаллической решеткой и разориентированные (смещенные или повернутые) относительно друг друга на доли градуса. Характеризуют несовершенство *кристаллической структуры*, связанное с наличием *дефектов в кристаллах*. Совокупность Б. м. (рис.) образует *мозаичную структуру* кристалла, понятие о к-рой возникло в начале 20 в. при изучении отражения рентгеновских лучей кристаллами. Подобная структура образуется при *кристаллизации* вещества из расплава, вследствие пластического деформирования материала, в результате *мартенситного превращения* стали, при *отпуске* закаленных сплавов, распаде пересыщенных *твердых растворов*, облучении материала нейтронами и т. д. Эта структура влияет на протекание таких процессов, как *диффузия, абсорбция, адсорбция* и т. п. Границей между Б. м. служит система *дислокаций*, вдоль и вблизи к-рых кристаллическая решетка искривлена. Два блока, разделенные такой границей, разориентированы относительно друг друга на угол θ , связанный с расстоянием d между дислокациями и

Блоки мозаики в кристалле.



$$\frac{b}{d} = 2 \sin \frac{\phi}{2}. \text{ Вследствие малой}$$

разориентации Б. м. внешний вид и анизотропия св-в материала, в к-ром возникает мозаичная структура, сохраняются практически неизменными. На рентгенограмме кристалла измельчение Б. м. вызывает размыв линий, по величине к-рого определяют размеры блоков. Размеры Б. м. составляют $10^{-4} \div 10^{-7}$ см и обуславливаются режимом кристаллизации, количеством и природой примесей кристаллизующейся жидкости, степенью и типом пластического деформирования, условиями его протекания (т-рой, скоростью деформирования, частотой изменения нагрузки и др.). Размер Б. м. при фазовых превращениях определяется условиями протекания этих превращений (т-рой, давлением), хим. составом кристалла. От размеров Б. м. существенно зависят физ. и мех. свойства материала. Так, мех. прочность кристалла с большими блоками, т. е. с малой плотностью дислокаций, ниже, чем мех. прочность кристалла с малыми блоками, т. е. с большой плотностью дислокаций. Объясняется это тем, что разрушение (под действием внешней нагрузки) кристалла с малыми блоками тормозится из-за сопротивления перемещению дислокаций соседними дислокациями. В практике создания высокопрочного чугуна, высокопрочной стали и др. высокопрочных металлических материалов обычно стремятся получить не бездефектные кристаллы, а однородный материал с очень малыми блоками, что достигается особыми условиями кристаллизации вещества, подбором хим. состава кристаллизующейся жидкости, режима закалки сплавов (для получения мартенсита), значительным пластическим деформированием и др.

Лит.: Лысак Л. И. Изменение внутривязанной мозаичной структуры металлов по линии рентгеновских интерференционных линий. В кн.: Вопросы физики металлов и металловедения, № 5. К., 1954; Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. Пер. с англ. М., 1962.

Л. И. Лысак.

БОР (Borun; от араб. борак — бура), В — хим. элемент III группы периодической системы элементов;

ат. н. 5, ат. м. 10,81. Кристаллы серовато-черного цвета. В большинстве соединений проявляет степень окисления +3. Природный Б. состоит из стабильных изотопов ^{10}B (19,57%) и ^{11}B (80,43%). Получены радиоактивные изотопы ^8B , ^{12}B и ^{13}B с очень малыми (доли секунды) периодами полураспада. Б. впервые получили в 1808 франц. химики Ж. Гей-Люссак и Л. Тенар. Содержание Б. в земной коре — $3 \cdot 10^{-4}\%$. Скопления Б. встречаются в виде кислородных соединений: борной кислоты (H_3BO_3), буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), ашарита (MgHBO_3), кернита ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) и более сложных минералов. Известны модификации Б.: простая альфа-ромбоэдрическая, тетрагональная и сложная бета-ромбоэдрическая. Их получают восстановлением Б. из его галогенидов водородом или термической диссоциацией его соединений в интервале т-р от 700 до 1600° С. При сравнительно низких т-рах Б. получается преим. альфа-ромбоэдрической модификации, при средних — тетрагональной, а при высоких т-рах — бета-ромбоэдрической. Тетрагональная и альфа-ромбоэдрическая модификации Б. при нагревании выше ~1500° С необратимо переходят в бета-ромбоэдрическую модификацию, в к-рой обычно кристаллизуется расплавленный бор. Альфа-ромбоэдрический Б. получают также из эвтектического сплава (см. Эвтектика) платина—бор. Осн. структурным элементом в строении ячеек всех модификаций служит группа из 12 атомов бора, образующих икосаэдр. В кристаллах Б. осуществляется особый тип сложной ковалентной связи — многоцентровая связь с дефицитом электронов. Периоды решеток тетрагонального Б.: $a = 10,12 \text{ \AA}$ и $c = 14,14 \text{ \AA}$, плотность его при комнатной т-ре 2,36—2,37 г/см³; альфа-ромбоэдрического Б.: $a = 5,06 \text{ \AA}$, $\alpha = 58,1^\circ$, плотность его 2,46 г/см³; бета-ромбоэдрического Б.: $a = 10,14 \text{ \AA}$, $\alpha = 65,3^\circ$, плотность его 2,31—2,35 г/см³. Т-ра плавления Б. около

2200° С. Теплота плавления $5,4 \pm 1$ ккал/г-атом, теплота сублимации при стандартной т-ре $134,2 \pm 3$ ккал/г-атом. Температурный коэфф. линейного расширения (в интервале т-р 20—750° С) $1,1 \cdot 10^{-6} \div \div 8,3 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Коэфф. теплопроводности кристаллического Б. при комнатной температуре 0,062 кал/см · сек · град, теплоемкость (при стандартной температуре) аморфного элемента составляет 2,858 кал/моль · град, бета-ромбоэдрического 2,650 кал/моль · град. Стандартная энтропия кристаллического элемента составляет 1,408 кал/г-атом · град, аморфного — 1,564 кал/г-атом · град. Дебаевская т-ра 1219 К. Кристаллический Б. — полупроводник. Удельное электрическое сопротивление его при комнатной т-ре порядка 10^8 ом · см. Значения ширины запрещенной зоны, определенные из электр. и оптических измерений, равны соответственно 1,42 и 1,53 эв. Подвижность носителей тока имеет весьма низкие значения при комнатной т-ре: для электронов — $1 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$, для дырок — $55 \text{ см}^2/\text{в} \cdot \text{сек}$, т. е. в Б. дырки подвижнее электронов. При измерении фотопроводимости Б. ведет себя как чувствительный, но инерционный фотопроводник. Б. — диамагнетик, удельная магнитная восприимчивость при температуре 19° С составляет $0,62 \cdot 10^{-9}$. Твердость Б. велика, его микротвердость 3400 кгс/мм². Б. отличается высокой хрупкостью при низких т-рах, начинает пластически деформироваться при т-ре, превышающей 1800° С. Модуль норм. упругости порядка 44 800 кгс/мм², предел прочности на растяжение 160—245 кгс/мм², на изгиб — 53,2 кгс/мм². В обычных условиях Б. характеризуется слабой хим. активностью, зависящей в значительной степени от его модификации, размера частиц и чистоты. Мелкие частицы Б. медленно окисляются на воздухе даже при комнатной т-ре. При нагревании на воздухе до т-ры 700° С он сгорает с образованием борного ангидрида (В₂О₃). Крупные кристаллы Б. до-

вольно устойчивы и при более высоких т-рах. При нагревании Б. соединяется с галогенами, серой и селеном. С водородом не взаимодействует даже при высокой т-ре; борводороды получают косвенными методами. С азотом при т-ре выше 1200° С образует нитрид ВN, с углеродом при т-ре выше 1300° С — карбиды В₄С, В₁₃С₂, с кремнием при т-ре 1000° С — бориды В₁₂Si, В₆Si, В₄Si и В₃Si. При т-ре выше 900° С взаимодействует с фосфором и мышьяком, образуя фосфиды ВР, В₅Р и арсениды ВAs, В₆As. С большинством металлов при высоких т-рах образует бориды. В соляной, серной и плавиковой к-тах не растворяется. Концентрированной азотной к-той или «царской водкой», а также при сплавлении со щелочами Б. окисляется до борной к-ты или боратов щелочных металлов. Важнейшие источники получения Б. — кернит и бура (95% всей мировой продукции). Технический Б. получают из природной буры превращением ее в борный ангидрид и последующим металлотермическим восстановлением. Элементарный Б. получают также электролитическим восстановлением расплавленных фторобората и щелочного бората, восстановлением галогенидов Б. водородом, термическим разложением галогенидов и гидридов. В зависимости от способа и условий получения образуется Б. различной степени кристаллическости — от аморфного и стеклообразного до кристаллического. Кристаллический Б. высокой степени чистоты получают зонной плавкой и вытягиванием. Из Б. изготавливают различные изделия, применяя горячее или холодное прессование порошка с последующим спеканием. Б. используют как легирующую добавку в различных коррозионностойких и жаростойких сплавах и полупроводниковых материалах, в качестве упрочнителя композиционных материалов. Б. насыщают поверхность стальных изделий для улучшения мех. св-в и стойкости против коррозии (см. Борирование). Б. находят применение в реактивной технике (добавка к горючему), в атомной энергетике (нейтронпоглощающий материал для регулирующих устройств реакторов), в полупроводниковой

технике (терморезисторы, полупроводниковые счетчики тепловых нейтронов, преобразователи тепловой энергии в электрическую) и др.

Лит.: Самсонов Г. В. [и др.]. Бор, его соединения и сплавы. К., 1960; Физико-химические свойства элементов. К., 1965; Некрасов В. В. Основы общей химии, т. 2. М., 1973; Справочник по редким металлам. Пер. с англ. М., 1965.

Г. В. Цагарейшвили.

БОРАТЫ — соли боратных (полиборатных) кислот. Из Б. ранее др. получила известность *бура*. Всего изучено (1977) свыше 100 природных и более 150 синтетических Б. К важнейшим боратам относятся: бура, кернит ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), улексит ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), ийовит ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$) и калиборит ($\text{KMg}_2\text{B}_{11}\text{O}_{19} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Тяжелые металлы образуют основные Б. перем. состава вследствие *изоморфизма*. Большинство двухвалентных металлов образуют с Б. щелочных металлов и аммония двойные Б. (напр., $\text{K}_2\text{CdB}_{12}\text{O}_{20} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). По кристаллическому строению различают Б. с изолированными полионами из оди- ночных и связанных борокислород- ных треугольников и тетраэдров, с цепочечными, каркасными, слоисты- ми и неизвестными борокислородны- ми полионами. Вода в кристалли- ческой решетке Б. может находиться в виде гидроксильных групп (кон- ституционная вода) и в виде молекул (кристаллогидратная вода). Гидро- ксильные группы сочетаются (или замещаются) с фтором и хлором, напр. в минералах берборите $\text{Be}_2(\text{BO}_3)(\text{OH}, \text{F}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ и альфа- борациите $\text{Mg}_3[\text{B}_7\text{O}_{13}/\text{Cl}]$. При нагре- вании Б. теряют вначале кристалло- гидратную, а затем конституцион- ную воду. Потеря кристаллогидрат- ной воды приводит к образованию аморфных соединений. Б. щелочных металлов и аммония легко раство- римы в воде, Б. щелочноземельных металлов и магния — малораствори- мы. Б. тяжелых металлов раствори- мы в глицерине. Т-ра плавления Б. от 600 до 1700° С. Наиболее высокие т-ры плавления (1550—1660° С) у ортоборатов редкоземельных метал- лов. Б. получают из водных раство- ров действием борной к-ты на осно- вания, двойным обменом между рас- творами солей двухвалентных метал- лов и буры, действием борной к-ты

на низшие бораты. Многие Б. тя- желых металлов получены пироген- ным или гидротермальным синтезом. Природные Б. — сырье для получе- ния борной к-ты, борного ангидри- да, элементарного бора, к-рые ис- пользуются в произ-ве *керамико-металлических материалов*, карбида и нитрида бора, боридов, для легиро- вания металлов. Б. применяют в стекольной и текстильной промыш- ленности, при получении *эмалей и глазурей*.

Лит.: Химия боратов. Материалы совеща- ния по вопросам химии боратов. Рига, 1953; Кешан А. Д. Синтез боратов в водном растворе и их исследование. Рига, 1955; Кондратьева В. В. Рентгенометрический определитель борат- ов. Л., 1969; Изучение высокотемператур- ных боратов. М., 1970. В. Н. Павликов.

БОРАЦИТ, $\text{Mg}_3\text{OCl}[\text{B}_3\text{B}_4\text{O}_{12}]$ — ми- нерал класса *боратов*. Хим. состав (%): B_2O_3 — 62,16; MgO — 25,70; MgCl_2 — 12,14. Магний изоморфно замещается двухвалентным железом (до 36%). Структура каркасная. Полиморфные модификации: ромбиче- ская (ниже т-ры 265° С) и кубическая (выше т-ры 265° С). Б. образует оди- ночные изометрические кристаллы кубического, реже додекаэдрическо- го, тетраэдрического и октаэдриче- ского облика. Кристаллы состоят из тонких двойниковых пластинок ром- бической модификации. При нагре- вании выше т-ры 265° С пластинки исчезают. Б. встречается также в виде тонкозернистых (мраморовид- ных) и волокнистых агрегатов. Двой- ники прорастания по (111) редки. Спайность (см. *Спайность минералов*) отсутствует. *Плотность* бесцветного Б. 2,93 г/см³ (вычисленная 2,97 г/см³), железистого — 2,97 — 3,10 г/см³. *Твердость* 7—7,5. Окраска (см. *Цвет минералов*) белая, желтая, зеленая до темно-зеленой (железистый Б.); часто бесцветный. Черта белая. Блеск (см. *Блеск минералов*) стек- ланный. Излом (см. *Излом минера- лов*) раковистый. Прозрачный до про- свечивающегося. Б. двухосный, по- ложительный; $2V = 82,5^\circ$. Показа- тели преломления: $n_g = 1,673$; $n_m = 1,667$; $n_p = 1,662$; $n_g - n_p = 0,011$. Отличается сильными пьезо- и пирозлектрическими св-вами.

Образуется в осадочных месторождениях *ангидрита, гипса, галита* и калийных солей океанического типа. Получен при медленном охлаждении расплава MgO и H_2BO_3 при избытке $MgCl_2$ и $NaCl$ (кристаллы Б.); нагреванием одной части $Na_2B_4O_7$ с двумя частями $MgCl_2$ и H_2O при т-ре около $280^\circ C$ и повышенном давлении; действием паров $MgCl_2$ на $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$ при высокой т-ре. Б. используют для получения *бур* и борной кислоты.

Лит.: Николаев А. В. Физико-химическое изучение боратов. М.—Л., 1947; Бокий Г. Б., Кравченко В. Б. Кристаллохимическая классификация боратов. «Журнал структурной химии», 1966, № 6; Горбов А. Ф. Борные минералы галогенных формаций. В кн.: Минералого-петрографические исследования галогенных отложений. Л., 1969; Дэна Дж. Д. и др. Система минералогии, т. 2, полутом 1. Пер. с англ. М., 1953.

М. М. Слишко.

БОРИДЫ — соединения бора с более электроположительными элементами. Впервые получены в 60-х гг. 19 в. франц. химиком А. Э. Сент-Клер Девилем и нем. химиком Ф. Велером восстановлением борного ангидрида алюминием и взаимодействием алюминия с хлоридом BCl_3 . Из 80 изученных двойных систем простых веществ соединения с бором образуются в 60 — металлами Ia — VIIIa подгруппы периодической системы. Элементы Ia — IVa подгрупп (кроме цинка) соединений с бором не образуют. Стабильность Б. металлов длинных периодов периодической системы элементов с увеличением атомного номера уменьшается. Системы медь — бор, золото — бор и серебро — бор являются простыми эвтектическими (см. *Эвтектика*). Макс. число боридных фаз с неодинаковым содержанием в них бора образуют переходные металлы III—VIII групп, для к-рых возможны различные валентные состояния, связанные с перекрытием *d*-, *f*-, *p*- и *s*-орбиталей. Состав наименее богатого бором соединения смещается в богатую бором область с увеличением отношения атомных радиусов металла и бора. По характеру хим. связи и физико-хим. св-вам Б. подразделяют на три класса. К первому

классу относятся бориды *z*-металлов — щелочных, бериллия, магния и щелочноземельных. Наблюдаются некоторые отличия в условиях образования и структуре Б. при переходе от щелочных металлов к бериллию, магнию и далее к щелочноземельным металлам. Щелочные металлы с бором образуют преим. низкосимметричные соединения (LiB_{10} , NaB_{15}). Б. бериллия и магния BeB_2 и MgB_2 кристаллизуются в типичном для Б. переходных металлов структурном типе AlB_2 . Б. щелочных металлов в водороде устойчивы до т-ры $850^\circ C$, в кислороде — до т-ры $500^\circ C$, галогены на них не действуют до т-ры $450^\circ C$. Бориды бериллия и магния (Be_5B , Be_3B , MgB_2) разлагаются водой с выделением бороводородов.

С увеличением содержания в них бора выход бороводородов уменьшается, устойчивость на воздухе возрастает. Б. бериллия и магния с высоким содержанием бора (MB_4 , MB_6 , MB_{12}) — тугоплавкие соединения. Щелочноземельные металлы образуют Б. состава MB_6 , по св-вам сходные с Б. редкоземельных металлов. Б. щелочноземельных металлов химически более устойчивы, чем Б. магния и бериллия, они не разлагаются водой с выделением бороводородов. Спеченные образцы боридов CaB_6 , SrB_6 и BaB_6 являются металлическими проводниками с высокой подвижностью носителей и относительно низкой работой выхода электронов. Ко второму классу относятся Б. переходных металлов III—VIII групп и редкоземельных металлов. Наиболее изучены и используются в технике дибориды титана, циркония, ванадия, ниобия, тантала, хрома, молибдена и вольфрама. У диборидов межатомная связь бор — бор носит ковалентный характер и осуществляется за счет валентных *sp*-электронов бора и части локализованных валентных *sd*-электронов металла. Связи металл — металл также носят преим. ковалентный характер и осуществляются за счет локализованной части валентных электронов. Присущие диборидам некоторые металлические св-ва указывают на существование в их решетке связей металлического характера, к-рые реализуются преим.

между атомами металла и бора и в меньшей степени — между атомами металла. К третьему классу Б. относятся соединения, образуемые *p*-элементами, напр. *нитрид бора* и *фосфид бора*. Учитывая кристаллохимические особенности, различают низшие и высшие Б. К низшим относятся Б., богатые металлом (M_3B , M_2B , M_3B_2 , MB , M_3B_4), к высшим — Б., богатые бором (MB_2 , MB , MB_4 , MB_6 , MB_{12} и MB_{66-100}). Структура низших Б. определяется металлической подрешеткой. Атомы бора в них располагаются либо изолированно друг от друга (типы $CuAl_2$, Re_3B , Fe_3C , Mn_5C_2 , Th_7Fe_3 и др.), либо образуют цепи: одинарные — в структурах CrB , FeB и α - MoB ; зигзагообразные с боковыми ветвями — тип $Ru_{11}B_3$; сдвоенные, образующие шестичленные кольца, — тип Ta_3B_4 ; строенные — структурный тип V_2B_3 . В высших Б. структуру определяют атомы бора, образующие жесткие подрешетки с ковалентными связями бор — бор в виде сеток (структурные типы AlB_2 , Mo_3B_5 , W_2B_5 , MoB_4 , Ru_2B_3 , ReB_2 , $IrB_{1,35}$) или сложных каркасов. В Б., содержащих более 50 ат. % В, атомы бора связаны в каркас, состоящий из гофрирован-

ных сеток (типы CrB_4 , MnB_4 и др.). Каркас из шести атомов бора наблюдается в структурных типах ThB_4 и CaB_6 . В Б., содержащих более 85 ат. % В, атомы бора группируются в кубоктаэдры (тип UB_{12}), простые икосаэдры (напр., тип B_4C) и, наконец, сложные цепи икосаэдров (типы YB_{66} , NaB_{15} и др.). Трехкомпонентных систем изучено (1977) около 210, в 147 из них образуются тройные бориды. Трехкомпонентные системы с участием бора подразделены на три группы: металлического типа с непрерывными рядами *твердых растворов*; с ограниченной растворимостью и образованием хим. соединений; с одновременным участием бора и углерода, бора и кремния, бора и азота. Образование взаимных твердых растворов Б., как правило, приводит к улучшению св-в по сравнению с исходными боридами. Так, двойной Б. титана — хрома, представляющий собой твердый раствор боридов TiB_2 и CrB_2 , характеризуется более высокой *твердостью*, *износостойкостью* и *жаростойкостью*. Сплавы изоморфных Б. редкоземельных металлов имеют более высокое

Структура и свойства боридов щелочноземельных, редкоземельных и переходных металлов

Борид	Кристаллическая решетка	$t_{пл}, ^\circ C$	$\lambda, \frac{кал}{см \times сек \cdot град}$	$\alpha \cdot 10^6, град^{-1}$	$\rho, \frac{г}{см^3}$	Работа выхода электронов, эв	$H, \frac{кгс}{мм^2}$
CaB_4	Кубическая	2235	0,055	5,64	123,5	2,86	2740
LaB_3	»	2500	0,114	7,4	9,1	2,55	3250
TiB_2	Гексагональная	2980	0,148	4,5	9,0	4,08	3480
ZrB_2	»	3200	0,138	5,9	9,7	3,69	2190
HfB_2	»	3250	0,122	6,3	10,6	3,54	2900
VB_2	»	2400	0,101	7,9	22,7	3,98	2800
Nb_3B_2	Тетрагональная	1850	0,023	13,8	45	3,35	1720
NbB	Ромбическая	2300	0,037	12,9	40	3,56	2200
Nb_5B_4	»	2750	0,049	9,9	33,5	3,88	2290
NbB_2	Гексагональная	3000	0,057	7,7	25,7	4,09	2600
TaB_2	»	3037	0,038	7,9	32,5	—	2600
Cr_2B	Ромбическая	1870	0,026	14,2	107	2,46	1350
Cr_3B	Тетрагональная	1890	0,037	13,7	49	2,72	1420
CrB	Ромбическая	2100	0,048	12,3	45,5	3,02	2100
Cr_3B_4	»	2070	0,049	10,8	60	3,12	1850
CrB_2	Гексагональная	2200	0,075	10,5	30	3,18	2200

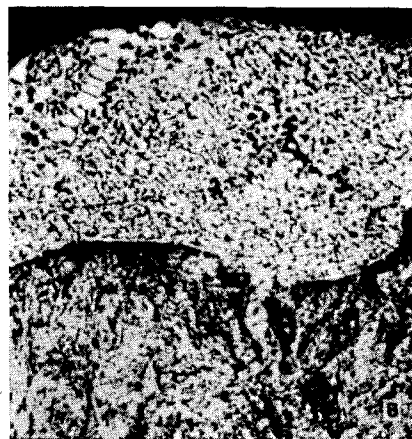
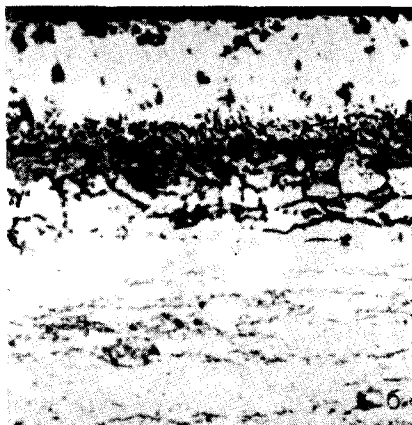
удельное электрическое сопротивление и сохраняют термоэмиссионные характеристики, близкие к характеристикам исходных боридов. Во второй группе по техническим св-вам выделяются боросилициды, в третьей — карбонитрид бора, обладающий тугоплавкостью, высокой термостойкостью, хим. инертностью, малой скоростью испарения и большим удельным электрическим сопротивлением. Он относится к числу перспективных высокотемпературных электроизоляционных материалов. Б. переходных металлов IVa—VIa подгрупп характеризуются высокими t -рами плавления (2500—3000° С), малым удельным электрическим сопротивлением, высокой твердостью и стойкостью к окислению (табл.). С ростом отношения В/М (В — бор, М — металл) уменьшаются удельное электрическое сопротивление и коэфф. термического расширения, увеличивается t -ра плавления, фононная составляющая теплопроводности, микротвердость и др. прочностные характеристики, что свидетельствует об упрочнении межатомной связи в решетке при переходе от низших Б. к высшим. У всех диборидов переходных металлов характер проводимости металлический. При переходе от диборидов металлов IV группы к диборидам металлов V и VI групп св-ва, характеризующие прочность межатомных связей, изменяются: t -ра плавления, микротвердость и модуль норм. упругости уменьшаются, коэфф. термического расширения увеличивается. Гексабориды редкоземельных элементов отличаются низкой работой выхода электронов и высокой плотностью тока эмиссии. Б. получают синтезом из простых веществ: спеканием или сплавлением в вакууме или среде восстановительного газа. Разновидность метода — самораспространяющийся высокотемпературный синтез, к-рый заключается в использовании тепла, выделяющегося в процессе экзотермических реакций. Высокой производительностью отличается плазмохимический синтез боридов. Кроме того, Б. получают взаимодействием оксидов металлов с бором

в вакууме либо с карбидом бора в вакууме или среде восстановительного газа, взаимодействием летучих соединений металлов и бора при наличии водорода и электролизом расплавленных сред. Процессы осуществляют в электр. печах сопротивления, вакуумных и дуговых печах, используют также дуговую или высокочастотную плазму. Монокристаллы Б. получают взаимодействием галогенидов металлов с боросодержащими газами в среде водорода, зонной плавкой и кристаллизацией из растворов легкоплавких металлов. Б. применяют при изготовлении сопел установок для распыления жидких металлов, лодочек, тиглей, защитных чехлов термопар, в качестве термоэлектродов в термопарах с графитом, используемых для измерения t -ры расплавленных чугунов и сталей, как поглощающий материал для ядерных реакторов, защитное покрытие на металлах (Б. титана, циркония, ниобия и хрома), в качестве высокоизносостойких покрытий и наплавов на сталях и чугунах (Б. титана, хрома и сплавы на их основе). Б. редко- и щелочноземельных металлов используют для изготовления катодов мощных генераторных устройств. Лит.: Самсонов Г. В. [и др.]. Бор, его соединения и сплавы. К., 1960; Самсонов Г. В. Тугоплавкие соединения. М., 1963; Самсонов Г. В., Серебрякова Т. И., Неронов В. А. Бориды. М., 1975.

Ю. Б. Кузьма, Т. И. Серебрякова.

БОРИРОВАНИЕ — насыщение поверхностного слоя металлических изделий бором. К Б. прибегают гл. обр. с целью повышения поверхностной твердости изделий, их износостойкости (особенно абразивной), реже — коррозионной стойкости и теплоустойкости. Б. подвергают поверхности изделий из железа, сплавов на его основе, а также тугоплавких металлов, используя явление диффузии. Различают Б. твердое (или порошковое), жидкостное (электролизное и безэлектролизное) и газовое. При т в е р д о м Б. очищенные изделия помещают в герметичный или негерметичный контейнер, засыпая их реакционной смесью, состоящей из порошкообразного боризатора (аморфного бора, карбида бора, ферробора и др.), инертной добавки

(окиси алюминия, кварцевого песка, тонкоизмельченного *шамота*), вводимой для предотвращения спекания или налипания смеси на поверхность изделий, и активатора (гало-



генида, обычно NH_4Cl) в соотношении примерно $60 : 35 \div 39 : 1 \div 5$. Изделия укладывают так, чтобы вокруг них был слой реакционной смеси толщиной не менее 20—30 мм. Хорошее качество диффузионного слоя достигается также при насыщении углеродистых и легированных сталей в смеси карбида бора и *буры* (84 : 16). Для получения слоя *боридов* толщиной $0,1 \div 0,3$ мм насыщение проводят при t -ре 900—1100° С в течение 5—6 ч. Разновидностью твердого является вакуумное Б., осуществляемое в вакуумно-плотных контейнерах при остаточном давлении 10^{-3} мм рт. ст. При высоких t -рах в результате испарения аморфного бора или карбида бора образуются пары этого элемента, которые конденсируются на обрабатываемой поверхности, и атомарный бор диффундирует в металл. Ж и д к о с т н о е Б. проводят при t -ре 850—1000° С в расплавах различных солей с введением в них борсодержащих компонентов. Жидкостное электролизное Б. обычно осуществляют в расплаве *буры*, иногда с добавкой карбида бора. Стальное изделие подключают в качестве катода в цепь постоянного тока, анодом служит предварительно борированный тигель из жаростойких или нержавеющей сталей. Удовлетворительной стойкостью обладают также пропитанные бурой графитовые и керамические тигли. При расплавлении *бура* диссоциирует термически, а также вследствие наложения пост. электр. тока с выделением атомов активного бора, диффундирующего в обрабатываемое изделие. Насыщение проводят при плотности тока $0,15—0,25$ а/см². Жидкостное безэлектролизное Б. осуществляют в расплавах *буры* с добавлением карбида бора. Хорошие результаты получаются при соотношении этих компонентов 60 : 40. Диффузионный слой можно создавать также в рас-

Микроструктура борированного слоя на изделиях из стали марки Ст. 45 (а), стали марки Х17Н2 (б) и среднеуглеродистой стали, борированной методом оплавления (в), $\times 200$.

плавах солей NaCl и BaCl с добавлением карбида бора. Газовое Б. проводят при термическом разложении газообразных соединений бора — диборана (B_2H_6), треххлористого бора (BCl_3) и др., чаще всего в смеси с водородом в соотношении соответственно 1 : 25 ÷ 100. При т-ре выше 500°C диборан почти полностью разлагается на активный бор и водород, к-рые и омывают насыщаемые изделия. При газовом Б. насыщение протекает интенсивнее, чем при твердом или жидкостном: за 2—5 ч при т-ре $800\text{—}900^\circ\text{C}$ образуется слой боридов толщиной 0,1—0,2 мм. На изделиях из железа и углеродистых сталей диффузионный слой отличается иглообразным строением (рис., а) и состоит, как правило, из двух фаз — ромбического борида FeB (16,25% В) на поверхности и находящегося под ним тетрагонального борида Fe_2B (8,48% В), *микротвердость* к-рых составляет $1800 \div 2000$ и $1600 \div 1800$ кгс/мм². Под слоем боридов находится переходная зона, толщина которой иногда на порядок и более превышает толщину слоя боридов. Эта зона состоит из *твердого раствора* бора и др. легирующих элементов в железе. Под слоем боридов находится карбоборид железа $\text{Fe}_3\text{C}_{0,2}\text{B}_{0,8}$ в виде зерен продолговатой формы. Молибден, вольфрам и хром уменьшают толщину слоя боридов и повышают их макс. микротвердость до $2100\text{—}2200$ кгс/мм², медь, никель и алюминий снижают микротвердость фазы FeB на $200\text{—}300$ кгс/мм², а также уменьшают толщину боридного слоя на изделиях.

Легирование стали обеспечивает получение более равномерного по толщине боридного слоя (рис., б). Во время насыщения стальных изделий бором при заэвтектических т-рах (метод оплавления) на их поверхности образуется слой, состоящий из боридной *эвтектики* (рис., в). Б. вызывает появление в поверхностных слоях изделий остаточных сжимающих напряжений до $50\text{—}100$ кгс/мм², повышает их износостойкость в 5—10 раз, увеличивает коррозионную стойкость углероди-

стых и низколегированных сталей в водных растворах H_2SO_4 , H_3PO_4 , HCl , NaCl и др., не оказывает влияния на коррозионную стойкость нержавеющих сталей и сплавов или даже понижает ее. Б. повышает усталостную прочность изделий из углеродистых и некоторых низколегированных сталей до 50% и в несколько раз снижает предел усталости сталей марок X17H2, 38ХС15Х16Н2М и др. Коррозионно-усталостная прочность изделий из углеродистых сталей после Б. увеличивается вдвое и более. Недостаток Б. — повышенная хрупкость боридов, к-рую снижают, вводя в реакционную смесь небольшое количество меди, алюминия и других металлов.

Б. подвергают изделия, эксплуатируемые в условиях абразивного износа: втулки буровых насосов, диски подпятников турбобуров, штоки буровых насосов, элементы гусениц тракторов, звенья цепных пил, детали пресс-форм, вытяжных и гибочных штампов и др. технологической оснастки. См. также *Диффузионные покрытия*.

Лит.: Горбунов Н. С. Диффузионные покрытия на железе и стали. М., 1958; Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М., 1963; Ляхович Л. С., Воронин Л. Г. Боромирование стали. М., 1967; Карпенко Г. В. (и др.). Влияние диффузионных покрытий на прочность стальных изделий. К., 1971; Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавные покрытия. М., 1973; Похмурский В. И. Коррозионно-усталостная прочность сталей и методы ее повышения. К., 1974.

В. И. Похмурский.

БРОМ (Bromum; от греч. βρῶμος — зловоние), Br — хим. элемент VII группы *периодической системы элементов*; ат. н. 35, ат. м. 79,904. Красно-бурая жидкость с сильным неприятным запахом. Природный Б. состоит из изотопов ^{79}Br (50,54%) и ^{81}Br (49,46%). Известно 16 радиоактивных изотопов Б. с массовыми числами от 74 до 88, а также пять изомеров. Радиоизотопы характеризуются гл. обр. бета- и гамма-радиоактивностью. Период полураспада наиболее долгоживущего изотопа ^{80}Br — 4,5 ч. Б. открыл в 1826 франц. химик А. Ж. Балар. Содержание Б. в земной коре $3 \cdot 10^{-5}$ ат.%. Встречается в основном в соляных озерах, морской воде и буровых водах неф-

тивных месторождений. Б. — постоянный спутник хлора. При t -ре $-7,2^\circ\text{C}$ жидкий Б. превращается в красно-коричневые игольчатые кристаллы со слабым металлическим блеском. Пары Б. желто-бурого цвета, $t_{\text{кип}}$ $58,78^\circ\text{C}$. Плотность жидкого Б. $3,1882$ (t -ра 0°C) и $3,1028 \text{ г/см}^3$ (t -ра 25°C), диэлектрическая проницаемость 3. Хорошо растворим в воде ($3,53 \text{ г Б. в } 100 \text{ г воды}$ при t -ре 20°C) и во мн. органических растворителях (сероуглероде, четыреххлористом углероде, спиртах). Обладает высокой упругостью паров. В парах элементарный Б. состоит из двухатомных молекул. Отличается высокой хим. активностью, непосредственно соединяется со мн. неметаллами и металлами, образуя соединения со степенью окисления -1 . Соединение брома с водородом — бромистый водород HBr — бесцветный газ с резким запахом, $t_{\text{пл}}$ -88°C , $t_{\text{кип}}$ -67°C ; получают его непосредственным соединением элементов, действием сильных минеральных к-т (напр., серной к-ты) на соединения Б. с металлами или воды — на соединения Б. с неметаллами. Бромистый водород хорошо растворяется в воде (1200 г/л воды при t -ре 10°C), образуя бромистоводородную к-ту — одну из сильных минеральных к-т. Соли бромистоводородной к-ты — бромиды. Непосредственным взаимодействием Б. с кислородом получают чрезвычайно неустойчивые при обычных t -рах и давлениях двуокись BrO_2 и окись Br_2O . При растворении Б. в воде или растворах едких щелочей образуются соответственно бромноватистая к-та HBrO либо ее соли — гипобромиты. Эти соединения, степень окисления Б. в к-рых равна $+1$, относятся к числу сильных окислителей. Гипобромиты при нагревании переходят в соли бромноватой к-ты HBrO_3 со степенью окисления Б. $+5$. Соли бромноватой к-ты — броматы — находят применение в неорганическом и органическом синтезе как окислители. Кислородные соединения Б. со степенями окисления $+3$ и $+7$ (в отличие от аналогичных соединений хлора и йода) не известны. С галогенами Б. образует т. н. межгалогидные соединения.

В соединениях с фтором и хлором проявляет положительные степени окисления: $+1$ (BrF , BrCl), $+3$ (BrF_3) и $+5$ (BrF_5); в соединении с йодом степень окисления равна -1 (JBr). Межгалогидные соединения Б. относятся к числу весьма реакционноспособных веществ и используются при получении многих неорганических и органических соединений галогенов. Сырьем для получения Б. служит морская вода, буровые воды нефтяных месторождений и др. Осн. способ получения Б. — обработка бромсодержащих растворов элементарным хлором. Б. — исходный продукт для получения некоторых бромистых солей, органических производных. Соединения Б. используют в фотографии, при произ-ве некоторых красителей и др. Пары Б. чрезвычайно токсичны, жидкий Б. действует на кожу, вызывая плохо заживающие ожоги.

Лит.: Фиалков Я. А. Межгалогидные соединения. К., 1958; Позин М. Е. Технология минеральных солей. Л., 1974; Некрасов Б. В. Основы общей химии, т. 1—2. М., 1973. Ю. Я. Фиалков.

БРОМЕЛЛИТ [по имени швед. физика и минералога М. Бромелля (М. Bromell)], BeO — минерал класса окислов. Хим. состав Б. (из Лонгбана в Швеции) (%): BeO — 98,02; MgO — 0,07; CaO — 1,03; BaO — 0,55. Структура координационная, сингония гексагональная, вид симметрии дигексагонально-пирамидальный. Кристаллы Б. — мелкие гемиморфные призматические, удлиненные по оси c , облик искусственных кристаллов (от таблитчатых до игольчатых) зависит от способа и условий синтеза. Спайность (см. Спайность минералов) отчетливая по $(10\bar{1}0)$, на синтетических кристаллах слабая по $(11\bar{2}0)$. Плотность $3,02 \text{ г/см}^3$. Твердость 6,75—7,50. Бесцветен; поликристаллическая масса — белого цвета. Блеск (см. Блеск минералов) стеклянный. Минерал прозрачен.

Одноосный, положительный. Показатели преломления: $n_e = 1,733$; $n_o = 1,719$; $n_e - n_o = 0,014$. Отличается диамагнитными и пирозлектрическими св-вами; удельное элект-

рическое сопротивление (синтетическая керамика) $2,29 \cdot 10^9$ ом · м; коэфф. теплопроводности (т-ра 50° С) $0,5597$ кал/см · сек · град; тепловое расширение (в %) при т-ре от 20 до 1000° С перпендикулярно оси с составляет 0,910; параллельно оси с — 0,835; $t_{пл}$ $2550 \pm 25^\circ$ С. Нерастворим в воде, при растворении в горячих к-тах образует соли Be^{2+} . Взаимодействует со щелочами, стоек к действию большинства металлов. Б. относится к редким минералам. Встречается в кальцитовых жилах среди скарнов. Монокристаллы Б. выращивают гидротермальным способом — кристаллизацией на затравку, а также из флюсов молибдата лития. Тонкокристаллический порошок минерала получают термическим разложением гидроокиси или солей бериллия. Применяется в микроэлектронике в качестве теплостокков и подложек микросхем и резисторов; в атомной технике — как замедлитель и отражатель нейтронов, как радиационностойкая матрица или «разбавитель» дисперсионных видов топлива, как керамическое покрытие для топливных частиц ядерного горючего. Используется также для изготовления спец. керамики.

Лит.: Беляев Р. А. Окись бериллия. М., 1962; Окись бериллия. Труды Первой международной конференции по окиси бериллия. Пер. с англ. М., 1968.

А. С. Вишняковский.

БРОМИДЫ — соединения брома с более электроположительными элементами. По физ. и хим. св-вам близки к йодидам. Применение Б. в технике, сравнительно с др. галогенидами, ограничено. Специфическое использование находят, в частности, светочувствительный Б. серебра, а также Б. калия, прозрачный в инфракрасной области спектра.

С. А. Кириллов, В. Д. Присяжный.

БРО́НЗА (франц. bronze, от итал. brónzo) — сплав меди, в котором цинк либо отсутствует, либо не является осн. легирующим элементом. Первый сплав такого типа — оловянистая Б. — использовался еще за 3 тыс. лет до н. э. Сплав меди с цинком наз. лату́нью, с никелем — мельхиором, никелином, константа-

ном (см. также Медноникелевые сплавы), с большим содержанием марганца — манганином. Б. маркируют начальными буквами Бр, а затем начальными буквами наименований хим. элементов, входящих в состав сплава, в порядке убывания их процентного содержания (О — олово, С — свинец, Ц — цинк, Ж — железо, А — алюминий и т. д.). Цифры, соответствующие процентному содержанию хим. элементов, располагают в той же последовательности, что и буквы. Так, марка БрАЖ9-4 означает: бронза алюминиевая с железом, содержащая 9% Al и 4% Fe (остальное — медь). Сплавы меди с алюминием наз. *алюминиевыми бронзами*, с бериллием — *бериллиевыми бронзами* и т. д. Различают оловянистые бронзы, в к-рых осн. легирующим элементом является олово, и безоловянистые (специальные Б.). К безоловянистым относятся двойные алюминиевые, бериллиевые, германиевые, кадмиевые, кремнистые, магниевые, марганцовистые, свинцовистые, серебряные, сурьмянистые, титановые, хромистые, циркониевые и многокомпонентные бронзы. Б. подразделяют на *деформируемые бронзы*, поддающиеся горячей или холодной обработке давлением, и *литейные бронзы*, применяемые для изготовления литых фасонных изделий. Б. отличаются высокими антикоррозионными (см. Коррозионная стойкость) и антифрикционными св-вами, большой прочностью и твердостью. Структура Б. может быть однородной (однофазной, см. Гомогенная структура) и неоднородной (двух-трехфазной или более сложной, см. Гетерогенная структура). К Б. с однородной структурой относятся сплавы системы медь — олово, медь — алюминий, медь — бериллий и др. с относительно невысоким содержанием легирующих элементов: олова (не более 4—5%), алюминия (не более 5—7%), бериллия (не более 0,2%). Их однофазная структура (см. Альфа-фаза) представляет собой твердый раствор легирующего элемента в меди и имеет кубическую гранецентрированную кристаллическую решетку. Б. с такой структурой наиболее пластичны, хорошо выдерживают холодную обработку давлением. Если концентрация вводимых

в Б. элементов превышает предел растворимости их в меди в твердом состоянии, в структуре сплава появляются кристаллы последующих фаз. Эти фазы представляют собой твердые растворы на основе хим. соединений электронного типа, напр. в оловянистых Б. *дельта-фаза* соответствует хим. соединению $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$, в алюминиевых Б. *бета-фаза* соответствует хим. соединению AlCu_3 . Как правило, появление в заметном количестве кристаллов второй и последующих фаз сопровождается значительным повышением твердости и прочности, но при этом понижается *пластичность*, что особенно сказывается при холодной обработке давлением. Поэтому двухфазные сплавы обрабатывают давлением (куют, прессуют, прокатывают) только в горячем состоянии, используя их преим. как литейные. Недостатком двойных алюминиевых и оловянистых Б. является склонность к образованию крупнокристаллической структуры и к обратной *ликвации*. Кроме того, двойные алюминиевые Б. весьма склонны к газопоглощению и окислению в расплавленном состоянии, вспениванию при заливке в форму, трудно поддаются пайке твердыми и мягкими припоями, склонны к самоотпуску при медленном охлаждении, недостаточно стойки в среде перегретого пара. Мн. недостатки двойных Б. устраняют *легированием* — введением легирующих элементов (чаще всего марганца, железа, никеля, кремния, кобальта, свинца, фосфора, сурьмы), к-рые способствуют образованию в структуре сплавов хим. соединений с электронной связью, улучшая их структуру и мех. св-ва. Мех. и антикоррозионные св-ва многокомпонентных алюминиевых Б., содержащих добавки железа, кобальта, кремния, марганца и никеля, после термической обработки близки к св-вам бериллиевых Б. Для улучшения литейных св-в, повышения плотности отливок, улучшения их обрабатываемости в оловянистые Б. добавляют небольшое количество цинка и свинца. Чтобы улучшить диффузионные, мех. и технологические св-ва, а также раскисление оловянистых и спец. Б., вводят фосфор в виде фосфористой меди. Мех. св-ва Б. улучшают

модифицированием, используя микродобавки (сотые доли процента) ванадия, титана, вольфрама и бора или комплексные добавки этих элементов с бором. Большинство однофазных деформируемых Б., напр. оловянистые, алюминиевые, бериллиевые и др., упрочняют пластическим деформированием. С увеличением степени деформации резко возрастают прочность, твердость, но снижается пластичность. Помимо легирования, модифицирования и пластической деформации, для улучшения св-в Б. прибегают к гомогенизирующему *отжигу* (см. также *Гомогенизация*), отжигу однофазных сплавов, *закалке* и *отпуску*, упрочняющей термической обработке. Гомогенизирующий отжиг применяют для устранения неоднородности хим. состава и структуры в разных частях объема деформируемых слитков, для повышения пластичности при холодной обработке давлением, а в фасонных отливках — для повышения прочности и *ударной вязкости*. Отжиг однофазных Б. используют для их *рекристаллизации* во время промежуточных отжигов или выходного отжига с целью получения мягкого (пластичного) сплава. Закалка и отпуск дают возможность фиксировать необходимую структуру для повышения св-в литейных и деформируемых Б. Упрочняющую термическую обработку, основанную на *дисперсионном твердении* некоторых двойных и многокомпонентных Б., применяют для дисперсионного распада пересыщенного твердого раствора. Введение в двухкомпонентные сплавы, напр. в оловянистую и алюминиевую Б., др. легирующих элементов позволяет уменьшить содержание дефицитного олова и алюминия, а применение термической обработки — существенно улучшить прочностные и технологические св-ва (см. *Технологичность*), иногда превосходящие св-ва бериллиевых Б. Таковы, напр., оловянистоникелевая и кремнистоникелевая Б., являющиеся *стареющими сплавами*, в к-рых упрочняющими фазами служат хим. соединения типа Ni_3Sn_2 и Ni_2Si . На св-ва двух- и многокомпо-

нентных деформируемых и литейных Б. большое влияние оказывают вредные примеси висмута, сурьмы, серы и мышьяка. Наличие небольшого количества алюминия в оловянистых Б. способствует повышению прочности. Однако при большем количестве он в процессе расплавления окисляется, и в сплаве остается *окись алюминия*, к-рая, распределяясь по *границам зерен* кристаллитов, ослабляет межкристаллитные связи и понижает прочность сплава. Висмут, сурьма, сера и мышьяк в сплавах образуют легкоплавкие, хрупкие *эвтектики*, также ослабляющие межкристаллитные связи и понижающие прочность сплава. Поэтому содержание вредных примесей в Б., особенно в деформируемых, не должно превышать тысячных или сотых долей процента. Произ-во Б. и изготовление изделий из нее включают следующие процессы: приготoвление жидкого сплава; отливку слитков и фасонных изделий; изготовление *бронзовых порошков*; холодную и горячую обработку давлением; сварку и пайку; обработку резанием. Из Б. изготавливают полосы, листы, ленты, прутки, трубы, профили, проволоку и др. Для плавки Б. используют электр. низкочастотные печи с железным сердечником типа АЯКС, дуговые электр. печи типа ДМК, высокочастотные индукционные печи, индукционные печи пром. частоты, вакуумные и др. специализированные печи. Шихтовыми материалами служат *чистые металлы* и вторичные Б. (изготовленные из отходов произ-ва и лома). Литейные и деформируемые оловянистые Б. применяют в общем машиностроении, если требуется сочетание высоких антикоррозионных и антифрикционных св-в, электро- и теплопроводности. Их используют для произ-ва пружин и пружинящих деталей в машиностроении, в автотракторной и авиационной пром-сти, в хим. машиностроении и др. Литейные оловянистые Б. применяют также для изготовления пароводяной (герметичной) арматуры, эксплуатируемой под давлением, и для отливки деталей, эксплуатируемых в условиях

статического (подшипников, втулок, вкладышей и т. д.). Вследствие дефицитности олова оловянистые Б. заменяют более дешевыми спец. сплавами, хотя они, отличаясь лучшими мех. св-вами (напр., алюминиевые и кремнистые бронзы), большей *жидкотекучестью* и высокими антифрикционными св-вами (*свинцовистые бронзы*), не обладают комплексом всех положительных св-в оловянистых Б. Спец. Б. используют для изготовления токопроводящих деталей; деталей, эксплуатируемых в химических агрессивных средах, при повышенных температурах, претерпевающих высокие мех. нагрузки; пароводяной арматуры; деталей трубопроводов высокого и низкого давления; пружин и пружинящих деталей, эксплуатируемых в условиях циклической нагрузки, при повышенных и отрицательных температурах. Б. является составной частью *бронзографита* и материалом для декоративного *бронзирования* поверхностей керамических и металлических изделий. Заменителями Б. служат *биметаллические материалы* в виде прокатных листов и труб, чугуновых и стальных вкладышей, покрытых антифрикционными или антикоррозионными сплавами; *спеченные материалы*, изготовленные из порошков ферромагнитных, цветных металлов и неметаллических материалов; некоторые неметаллические материалы (напр., графит). См. также *Марганцовистая бронза*, *Меди сплавы*, *Сурьмянистая бронза*, *Фосфористая бронза*, *Хромистая бронза*.

Лит.: Туркин В. Д., Румянцев М. В. Структура и свойства цветных металлов и сплавов. М., 1947; Материалы в машиностроении. Справочник, т. 1. М., 1967; Мальцев М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М., 1970; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

В. В. Казарцев.

БРОНЗИРОВАНИЕ — нанесение на поверхность металлических изделий защитного слоя *бронзы* или придание им бронзового оттенка. Б. называют также придание неметаллическим изделиям металлического (бронзового) блеска с помощью спец. порошков. Относительно толстые (от 25—30 мкм до 1 мм) бронзовые покрытия наносят электролитиче-

ским способом (см. Гальванические покрытия), менее толстые — металлизацией, окрашиванием изделий тонкоизмельченной в лепестки бронзой (до 0,1—1,5 мкм) вместе с масляными или спиртовыми лаками, хим. обработкой поверхности. Внешний вид бронзовых покрытий зависит от их хим. состава: напр., при 3% Sn они не отличаются от медных, при 12—15% Sn имеют золотисто-желтый цвет, при 22,5% Sn становятся белыми. Электролитическим осаждением чаще всего получают бронзовые покрытия с 10—12 и 40—45% Sn (остальное — медь). Состав покрытия зависит от концентрации меди и олова в электролите, от содержания некоторых др. компонентов, плотности тока и т-ры процесса. Бронзовые покрытия с 10—12% Sn представляют собой пересыщенные твердые растворы, сохраняют пластичность в слоях большой толщины (1 мм и более) при хорошем сцеплении с основой. Бронзовые покрытия с 40—45% Sn (т. н. белая бронза, по внешнему виду занимающая промежуточное положение между никелем и серебром) представляют собой интерметаллические соединения, они значительно менее пластичны, чем покрытия с 10—12% Sn, отличаются хорошим сцеплением с основой из меди и ее сплавов, хорошей электропроводностью, удобны для пайки. Для совместного выделения на катоде ионы меди и олова (их стандартные потенциалы различаются примерно на 0,5 в) связывают в устойчивые комплексы так, чтобы потенциалы электроосаждения этих металлов были равны или достаточно близки. С этой целью процесс чаще всего ведут в стannатцианистых электролитах, где медь находится в виде цианистых комплексных ионов $[\text{Cu}(\text{CN})_3]^-$, а олово — в виде щелочных (стannатных) комплексных ионов $(\text{SnO}_3)^{--}$. Помимо этих ионов в электролите должно быть некоторое количество свободного цианида натрия или цианида калия и свободного едкого натра или едкого кали. Регулируя концентрацию этих четырех компонентов, а также режим процесса (т-ру, плотность тока), получают бронзовые покрытия заданного состава. Медь

выделяется на катоде предпочтительно перед оловом. Так, если отношение к-ва меди к к-ву олова в электролите равно 6,4 : 1, то в покрытии оно составляет 24 : 1, а если это отношение в электролите равно 1 : 1,4, то в покрытии оно составляет 2,3 : 1. На состав покрытия оказывает влияние концентрация свободного цианида и щелочи в электролите. С увеличением концентрации цианида содержание меди в покрытии уменьшается, а содержание олова повышается. С повышением концентрации щелочи содержание олова в покрытии уменьшается, а меди увеличивается. Удовлетворительные в структурном отношении бронзовые покрытия получают при т-ре 65°С и несколько выше, плотность тока оказывает незначительное влияние на катодный процесс. Повышенная т-ра способствует увеличению содержания олова в покрытии, но решающую роль играет отношение масс олова и меди в электролите. Б. протекает удовлетворительно только при наличии в электролите четырехвалентных ионов олова; появление его двухвалентных ионов (даже самой незначительной концентрации) приводит к образованию губчатой структуры, и покрытия становятся непригодными. Электроосаждение бронзы с 10—12% Sn часто проводят с растворимыми анодами. При анодной плотности тока 3 а/дм² они растворяются с образованием четырехвалентных ионов олова. При малейшем появлении губчатых осадков в электролит добавляют перекиши натрия или водорода. Электроосаждение бронзы с 40—45% Sn осуществляют с раздельными медными и оловянными анодами. На оловянных анодах предварительно создают желто-золотистую окисную пленку, обеспечивающую их растворение в виде четырехвалентных ионов. Плотность тока на медных и оловянных анодах регулируют таким образом, чтобы в электролите поддерживалось заданное отношение между концентрацией ионов меди и олова. Для нанесения относительно тонких слоев бронзы с 10—12% Sn применяют электролит состава: 26—28 г/л Cu (в виде

цианистой соли), 13—14 г/л Sn (в виде станната), 13—15 г/л $\text{NaCN}_{\text{своб.}}$, 8—10 г/л $\text{NaOH}_{\text{своб.}}$; т-ра электролита 65—70° С, плотность тока $\sim 3 \text{ а/дм}^2$. Для нанесения толстых (до 1 мм) слоев бронзы с 40—45% Sn используют электролит состава: 7,5—8,5 г/л Cu (в виде цианистой соли), 38—42 г/л Sn (в виде станната), 16—18 г/л $\text{NaCN}_{\text{своб.}}$, 14—16 г/л $\text{NaOH}_{\text{своб.}}$; т-ра электролита $65 \pm 2^\circ \text{С}$, плотность тока $1,5\text{—}2,5 \text{ а/дм}^2$. За 20 мин осаждается слой толщиной 25 мкм, что соответствует выходу по току около 60%. Бронзовые покрытия с 10—12% Sn применяют вместо никеля при защитно-декоративном хромировании, а также для местной защиты от диффузии азота в сталь при соответствующей термической обработке. Бронзовые покрытия с 40—45% Sn наносят на детали радиоаппаратуры, столовые приборы, различные металлические изделия, применяемые в быту.

Лит.: Лайнер В. И., Кудрявцев Н. Т. Основы гальваностегии, ч. 2. М., 1957; Лайнер В. И. Современная гальванотехника. М., 1967; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974.

В. И. Лайнер.

БРОНЗОВЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы бронзы различной формы. Б. п. с чешуйчатой формой частиц применяется с 16 в., со сферической — с середины 18 в. Б. п. с чешуйчатой формой частиц получают из порошка со сферической их формой, из бронзовой стружки или нарезанной бронзовой фольги; порошок со сферической формой частиц — распылением жидкой бронзы с помощью центробежных устройств, сжатого воздуха или газа. Центробежные устройства дают возможность получать значительно более тонкие порошки. Состав, структура и св-ва зависят от способа получения порошков, их последующей обработки. Наибольшими значениями насыпной массы, пикнометрической плотности и текучести обладают порошки, полученные распылением жидкой бронзы инертными или защитными газами. Прессуемость и формуемость порошков улучшается после восста-

новительного отжига. Частицы оловянистых бронз при распылении обычно приобретают сферическую форму, частицы алюминиевых бронз — неправильную (при одинаковых условиях распыления). Пористость порошков из оловянистых бронз выше, чем пористость порошков из алюминиевых бронз. Текучесть Б. п. увеличивается с уменьшением размеров частиц. Порошки с чешуйчатой формой частиц размером более 0,22 мм и порошки со сферической формой частиц размером более 0,35 мм вообще не вытекают из отверстий. Пикнометрическая плотность окисленных Б. п. снижается по мере уменьшения размеров частиц. У восстановленных после распыления Б. п. плотность почти не зависит от размеров частиц. В частпцах бронз во время затвердевания может развиться ликвация: наружные слои образуются из фазы с более высокой т-рой плавления, центральная часть — из фазы с пизкой т-рой плавления. Высокая скорость охлаждения частиц может вызвать закалку бронз, образование соответствующей фазовой структуры. Если такое явление нежелательно, порошки подвергают отжигу. Б. п. со сферической формой частиц нашли применение при изготовлении фильтрующих, выпотевающих и антиобледенительных материалов, беспровальных газораспределительных решеток, газодиффузионных электродов и т. п. Б. п. с чешуйчатой формой частиц применяют как высококачественные пигменты для антикоррозионной окраски стальных конструкций, для декоративно-защитной окраски (имитация позолоты) стальных, деревянных, гипсовых и др. изделий. Чешуйчатая форма частиц придает порошкам особенно ценные св-ва: отражать до 75—80% световых, инфракрасных и ультрафиолетовых лучей, повышать коррозионную стойкость изделий, улучшать их внешний вид, удлинять срок службы кроющих пленок (порошки применяют с различными связующими материалами, напр. канифольно-масляными, битумно-масляными лаками, нитролаками, олифами). Кроме того, Б. п. используют в пиротехнике, в производстве материалов с анизотропными электр. или магн. св-ми.

Применение Б. п. в производстве антифрикционных изделий позволяет увеличить долговечность и надежность узлов при эксплуатации со смазкой и без смазки, уменьшить их стоимость, упростить технологию изготовления и эксплуатацию изделий.

Лит.: Найда Ю. И., Ничипоренко О. С. Распыление бронзы и свойства получаемых порошков. «Порошковая металлургия», 1967, № 7; Джонс В. Д. Основы порошковой металлургии, ч. 1. М., 1964. В. В. Казарцев.

БРОНЗОГРАФИТ (от *бронза* и *графит*) — пористый спеченный материал на основе меди с частицами графита; вид антифрикционного материала, у которого поры заполнены минеральным или синтетическим маслом. Широкое применение нашел в 30—40-х гг. 20 в. Микроструктура Б. состоит из альфа-твердого раствора олова в меди, включений эвтектоида, содержащего этот раствор и хим. соединение Cu_3Sn_8 , включений графита и системы пор. Б. содержит растворимые (напр., олово, цинк) и малорастворимые (свинец) в меди элементы (табл.). Наличие графита и заполненных маслом пор обуславливает низкий коэфф. трения Б. по стали (0,04—0,05), его большую износостойкость, стойкость к интенсивному тепловыделению, повышенным давлению и скорости скольжения. *Пористость* Б. 15—22%, *масловпитываемость* 1—2%, *предел прочности* на растяжение 3,5—7 кгс/мм², *предел прочности* на срез 10—15 кгс/мм², *предел прочности* на сжатие 40—55 кгс/мм², *HV* = 25 ÷ 50, *плотность* 5,0—6,0 г/см³, *коэфф. проницаемости* (0,5 ÷ 2,5) 10⁻⁶ см³. С повышением пористости скольжения и давления проницаемость изделий из Б. (вту-

лок для подшипников скольжения) уменьшают, а содержание графита увеличивают. Сырьем для производства различных бронзографитовых изделий служат *бронзовый порошок*, *медный порошок*, *оловянный порошок*, *цинковый порошок* и *свинцовый порошок*.

Изготовление изделий из Б. заключается в приготовлении порошковой смеси, ее прессовании, спекании заготовок, их калибровании и пролитывании маслом. Такие изделия эксплуатируют при ограниченной смазке, повышенной т-ре и влажности, ударных нагрузках, частых реверсах, а также в условиях самосмазывания. Допустимые рабочие т-ры от —60 до +200° С, давление до 40 кгс/см², скорость скольжения до 10 м/сек. Применение подшипников из Б. позволяет повысить гарантийный срок службы некоторых узлов трения в машинах и приборах; этими подшипниками часто заменяют дорогостоящие и дефицитные шарикоподшипники.

Лит.: Мошкова А. Д., Успенский Я. В. Технология производства и применение пористых подшипников. М.—Свердловск, 1959; Мошкова А. Д. Пористые антифрикционные материалы. М., 1968; Вайнштейн В. Э., Троицковская Г. И. Сухие смазки и самосмазывающиеся материалы. М., 1968.

А. И. Дзюбенко.

БРУКИТ [по имени англ. кристаллографа и минералога Г. Дж. Брука (G. J. Brooke)], TiO_2 — минерал класса окислов. Разность: а р к а н з и т — Б. псевдогексагонального облика. Хим. состав (%): Ti — 60; O — 40. Содержит иногда примеси Fe_2O_3 (1,0—4,5%), Nb_2O_5 и Ta_2O_5 . Структура слоистая, сингония ром-

Химический состав бронзографита

Марка бронзографита	Содержание элементов, %				
	Cu	Sn	Zn	Pb	C
БрОГр8-4	Основа	8	—	—	4
БрОГр9-3	»	9	—	—	3
БрОГр10-1	»	10	—	—	1
БрОГр10-2	»	10	—	—	2
БрОСГр1-29-0,5	»	1	—	29	0,5
БрОЦГр6-6-2	»	6	6	—	2
БрОЦСГр6-6-3-2	»	6	6	3	2

бическая, вид симметрии ромбодипирамидальный. Встречается в виде кристаллов таблитчатого, реже призматического и дипирамидального облика. Кристаллы в большинстве случаев уплощены по (100) и удлинены по оси c . На гранях их наблюдается характерная вертикальная штриховка. Известны параморфозы *рутила* по Б. и псевдоморфозы *магнетита* по Б. Спайность (см. *Спайность минералов*) по (001) и (110) несовершенная. Плотность 3,9—4,14 г/см³. Твердость 5,5—6. Хрупкий. Цвет (см. *Цвет минералов*) желтоватый, красноватый, красновато-бурый до железно-черного. Черта бесцветная до желтоватой и желтовато-серой. Блеск (см. *Блеск минералов*) алмазный и металлоидный. Излом (см. *Излом минералов*) неровный или неясно раковистый. Кристаллы от прозрачных до непросвечивающих. Под микроскопом в проходящем свете желтовато-золотисто- или красновато-бурый. Плеохроизм слабый: по N_g — светло-желтый, красновато-бурый, по N_m — светло-желтый, оранжево-бурый, по N_p — бесцветный, желтовато-бурый. Двухосный, положительный. Угасание прямое. N_g всегда \perp (100). Оптические св-ва Б. значительно изменяются в зависимости от длины волн света и т-ры, чем обусловлена сильная дисперсия его оптических осей. Иногда наблюдаются зональные пояса роста. В к-тах не растворяется. Перед паяльной трубкой не плавится. При нагревании выше т-ры 700° С переходит в рутил. В природе встречается относительно редко, гл. обр. в гидротермальных жилах альпийского типа, *пегматитах*, *сиенитах*, метаморфических *сланцах* и как устойчивый обломочный минерал в разных по возрасту и происхождению осадочных породах и россыпях. В чистом виде синтезировать не удается. Образуется вместе с рутилом и анатазом при старении золей двуокиси титана. Вместе с рутилом и анатазом используется для получения *ферротитана* и др. титановых сплавов.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минера-

логии. М., 1961; Минералы. Справочник, т. 2, в. 2. М., 1965; Поварных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971. С. Н. Цымбал.

БРУСЧАТКА — каменный дорожно-строительный материал в виде брусков, форма к-рых близка к параллелепипеду; вид *каменного природного материала*. Впервые начала применяться во второй половине 19 в. в странах Западной Европы. Различают Б. низкую узкую (высотой 10 и шириной 9—11 см), низкую широкую (10 и 12—15 см), среднюю (11—13 и 12—15 см) и высокую (высотой 14—16 и шириной 12—15 см). Длина Б. — 15—25 см. Лицевая грань Б. ровная (шероховатость до 1 см), прямоугольная. Верхняя (лицо) и нижняя (постель) плоскости параллельны, боковые грани суживаются книзу на 0,5—1 см. Объемная масса не менее 2550 кг/м³. Б. выкалывают из твердых пород (*гранита, габбро, базальта* и др.), стойких против удара и истирания, с пределом прочности на сжатие не менее 1000 кгс/см². Литую Б. изготавливают разливом металлургических шлаков в формы. Срок службы покрытия из Б., уложенной на каменном или бетонном основании, — 50—60 лет. Каменный материал, выколотый из тех же пород, что и Б., но по форме приближающийся к кубу, наз. *шашкой* для мостовой и *шашкой* для мостовой. Высота шашки — 8—10, ширина и длина — 7—11 см. Б. применяют для устройства покрытий на грузонапряженных участках городских и пром. дорог, в цехах металлургических з-дов, для мощения (наряду с шашками) городских улиц и площадей.

На брусчатку разработан ОСТ 3529, на шашку для мозаичной мостовой — ОСТ 3575.

Лит.: Макуни М. А. Камень и его применение в дорожном строительстве. М., 1955. Н. В. Дегтяренко.

БУРА (араб. *борак*), $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ — минерал класса *боратов*. Синоним: *тинк а л*. Хим. состав (%): Na_2O — 16,26; H_2O_3 — 36,51; H_2O — 47,23. Структура островная, сингония моноклиновая, вид симметрии призматический. Встречается обычно в виде зернистых агрегатов, выцветов и корок.

при дегидратации в условиях засушливого климата переходит в тонкие порошкообразные массы тинкалкони́та или кернита. Иногда образует крупные короткопризматические по (001) до таблитчатых по (100) кристаллы. Наиболее распространенные формы {100}, {110}, {010}, {001}. Изредка встречаются двойники по (100). Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (100), несовершенная по (010). Плотность 1,69—1,72 г/см³. Твердость 2—2,5. Хрупкая. Бесцветная, белая, также сероватая, синеватая, зеленоватая (см. *Цвет минералов*). Черта белая. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный, излом неровный. Просвечивает. Двухосная, отрицательная; $2V = 39^\circ$; $N_p = \perp (010)$; $c N_g = -56,9^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,472$; $n_m = 1,470$; $n_p = 1,447$; $n_g - n_p = 0,025$. Дисперсия сильная, перекрещивающаяся. Слабый щелочной сладковатый вкус. Диамагнитна. Образует крупные скопления в отложениях соляных бороносных усыхающих озер и грязевых вулканов, встречается в виде выцветов в засушливых районах или в отложениях из горячих источников. Крупные кристаллы Б. получают при испарении ее водных растворов. При t -ре выше 60°C образуется тинкалкони́т. Пределы устойчивости Б. зависят от наличия в растворе др. солей. Б. образуется также при действии соды на некоторые природные бораты (ашарит, гидробораци́т) или на раствор борной к-ты. Б. — сырье для получения борной к-ты и др. соединений бора. Применяется в медицине, а также в качестве флюса при паянии.

Лит.: Берлин Л. Е. Производство борной кислоты, буры и борных удобрений. М.—Л., 1950; Бокний Г. Б., Кравченко В. Б. Кристаллохимическая классификация боратов. «Журнал структурной химии», 1966, т. 7, № 6; Горбюв А. В. Борные минералы галогенных формаций. В кн.: Минералого-петрографические исследования галогенных отложений. Л., 1969; Дэна Дж. Д. [и др.]. Система минералогии, т. 2, полутом 1. Пер. с англ. М., 1953.

[М. М. Слеско.]

БУТОВЫЙ КАМЕНЬ — строительный материал, состоящий из кусков горных пород неправильной формы; один из каменных природных ма-

териалов. Б. к. получают взрывным и механическим дроблением горных пород с последующим разделением по крупности. По форме кусков, зависящей от свойств горной породы и дробильного оборудования, Б. к. подразделяют на равный (произвольной формы), постелистый (с одной небугристой гранью) и плитняковый (с двумя приблизительно параллельными гранями). Разновидность Б. к. — булыжный камень (с частично или полностью окатанной формой). Размер кусков Б. к. 150—500 мм. Качество Б. к. характеризуется петрографическим составом горной породы, маркой и морозостойкостью. Марка соответствует прочности на сжатие образцов, насыщенных водой. Б. к., получаемый из плотных горных пород (изверженных, осадочных и метаморфических), подразделяют на марки 100—1400, его морозостойкость до 300 циклов; Б. к., получаемый из пористых пород (известняков-ракушечников и туфов), — на марки 25—100, его морозостойкость 15 циклов. Б. к. применяют для кладки фундаментов, подземных частей зданий, стен нежилых, вспомогательных и производственных зданий, для укрепления земляных откосов, в дорожном строительстве, в качестве заполнителя для бутобетона. Б. к., используемый для кладки фундаментов, стен и подземных частей и в дорожном строительстве и получаемый из осадочных и метаморфических пород, должен быть марки не ниже 400; из изверженных пород — не ниже 800. Б. к., применяемый в качестве заполнителя для бутобетона, не должен содержать органических примесей, сернистых и серных соединений, рудных минералов, аморфных разновидностей кремнезема и др. Марка такого Б. к. должна быть в 1,5—3 раза выше требуемой марки бутобетона. Для бетона гидротех. сооружений, укладываемого в зоне переменного уровня воды, марка Б. к. из осадочных пород должна быть не ниже 800, из изверженных — не ниже 1000. Технические требования к Б. к. регламентируются ГОСТом 22432—76.

Лит.: Справочник по строительным материалам и изделиям. К., 1966.

Н. А. Максименко, М. Л. Нисневич.

БИСТРОРЕЖУЩАЯ СТАЛЬ — сталь, характеризующаяся большой твердостью и теплостойкостью; вид инструментальной стали. Б. с., отличающаяся от современной стали марки Р18 более низким содержанием вольфрама (14%) и ванадия (0,2%), начали применять в 1900. Высокие твердость, сопротивление пластическому деформированию и теплостойкость обусловлены хим. составом стали (табл.) и ее термической обработкой. Твердость при т-ре 20—200°С составляет 63—65 HRC у большинства Б. с. и 68—70 HRC у быстрорежущих кобальтовых сталей с повышенным содержанием углерода. Сопротивление пластическому деформированию, характеризующее пределом текучести на сжатие, при твердости 63—64 и 67—69 HRC составляет соответственно 220—240 и 260—270 кгс/мм², модуль Юнга при т-ре 20 и 500°С — соответственно (2,3—2,4) 10⁴ и (1,95—2,05) 10⁴ кгс/см². Разрушение Б. с. при т-ре 20—300°С хрупкое, температурный порог хладноломкости — 300—400°С, поэтому прочность Б. с. на изгиб определяют по способу со-

средоточенного изгиба, а ее вязкость — в динамических испытаниях на стандартных образцах без надреза. Прочность и вязкость стали зависят от сечения проката (поковок), хим. состава и условий термической обработки. Так, прочность на изгиб сталей многих марок составляет 300—350 кгс/мм² в прокате диаметром 30—35 мм и 180—250 кгс/мм² в прокате диаметром 75—200 мм. Вязкость изменяется от 1,5 до 5 кгс · м/см². Прочность и вязкость Б. с., получаемых спеканием порошков после распыления жидкого металла, — соответственно 350—400 кгс/мм² и 4—7 кгс · м/см². Теплостойкость — характерное свойство, отличающее Б. с. от высокотвердых сталей, — повышают легированием и термической обработкой. Различают стали умеренной, повышенной и высокой теплостойкости, сохраняющие твердость 60 HRC после нагрева до т-р соответственно 600—625; 630—650 и 700—725°С. Б. с. повышенной теплостойкости дополнительно легируют ванадием или кобальтом. Выпускают такую Б. с. в виде полос, горячекатаных и кованных прутков, холоднокатаных лент. После обработки давлением ее подвергают отжигу. Структура Б. с. повышенной теплостойкости в отожженном состоянии — мелкозернистый перлит и

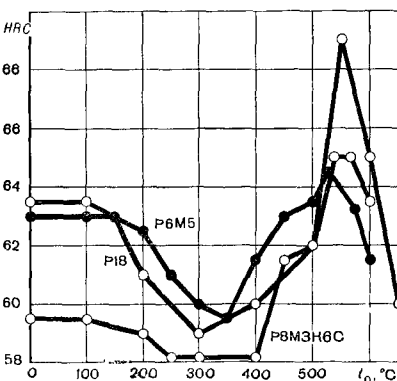
Химический состав быстрорежущих сталей

Марка стали	Содержание элементов, %					
	C	W	Mo	Cr	V	Co
Сталь умеренной теплостойкости						
P6MK	0,8—0,9	5,5—6,5	4,5—5,5	3,8—4,4	1,8—2,2	—
P8M3 (ЭП 856)	0,8—0,9	7,5—8,5	3,0—3,5	3,6—4,2	1,7—2,1	—
P12	0,8—0,9	12,0—13,0	До 1,0	3,3—3,7	1,5—1,9	—
P18	0,7—0,8	17,0—18,5	0,5—1,0	3,8—4,4	1,0—1,4	—
Сталь повышенной теплостойкости						
P12Ф3 (ЭП 597)	0,94—1,04	12,0—13,5	0,5—1,0	3,5—4,0	2,5—3,0	—
P8M3K6C (ЭП 722)	1,05—1,13	7,5—8,5	3,4—4,0	3,5—3,9	1,5—1,9	5,8—6,5
P9M4K8Ф	1,0—1,1	8,5—9,5	3,8—4,3	3,1—3,6	2,1—2,5	7,5—8,5
P12Ф4K5 (ЭП 600)	1,25—1,4	12,5—14,0	0,5—1,0	3,5—4,0	3,2—3,8	5,0—6,0
P6M5K5	0,8—0,9	5,5—6,5	4,5—5,5	3,8—4,4	1,8—2,2	5,0—6,0
Сталь высокой теплостойкости						
B11M7K23 (ЭП 831)	0,05—0,15	10,5—12	7,0—8,0	До 0,5	0,4—0,8	22,5—24

Примечание: В стали марки B11M7K23 (ЭП 831) содержится также 0,1—0,2% Nb,

карбиды типов M_6C , $M_{23}C_6$ и MC . Термическая обработка сталей умеренной и повышенной теплостойкости заключается в *закалке* с t -рой нагрева 1200—1300° С и последующем *отпуске* (двух- трехкратном) при t -ре 550—600° С. При высокой t -ре закалки происходит более полное насыщение *аустенита* вольфрамом и молибденом. Избыточные карбиды препятствуют росту зерна, вследствие чего структура Б. с. после нагрева остается мелкозернистой. Учитывая это, t -ру закалки подбирают таким образом, чтобы сохранить в структуре зерно необходимого размера. Структура закаленной Б. с. состоит из *мартенсита*, остаточного *аустенита* и избыточных карбидов. T -ра отпуска Б. с. умеренной и повышенной теплостойкости 500—600° С. При более низких t -рах (200—350° С) из мартенсита выделяются карбиды цементитного типа, которые уменьшают твердость стали до 58—60 HRC (рис.). При t -ре 400—600° С выделяются карбиды легирующих элементов, повышающие твердость в результате *дисперсионного твердения* (т. н. вторичная твердость). Б. с. высокой теплостойкости — практически безуглеродистая сталь. Структура в отожженном состоянии — *феррит* и *металлиды* (Fe, Co) $_7W_6$, твердость 32—36 HRC. В результате закалки часть металлидов переходит в твердый раствор. Структура в закаленном состоянии — легированный феррит и избыточные металлиды, твердость —

Зависимость твердости быстрорежущих сталей от температуры отпуска.



40—45 HRC. T -ра отпуска 625—650° С, твердость после отпуска 68—69 HRC. Последующая обработка Б. с. (кроме мелких и с очень точной рабочей кромкой инструментов) состоит в *цилиндровании* и *оксидировании*, осуществляемых после шлифования и заточки. Из Б. с. умеренной теплостойкости изготавливают сверла, протяжки, концевые фрезы, зенкеры для обработки *конструкционных сталей* и *чугунов* с твердостью до 280 HB. Инструменты из Б. с. повышенной теплостойкости используют для резания заготовок из *жаропрочных сталей*, *жаропрочных сплавов* и *нержавеющих сталей* с *аустенитной структурой* и улучшенных конструкционных сталей с твердостью 35—45 HRC. Стойкость инструментов из этой стали в два—четыре раза выше, чем из стали умеренной теплостойкости. Инструменты из Б. с. высокой теплостойкости предназначены для резания заготовок из *титана сплавов*, *марганцовистых сталей* с *аустенитной структурой*, а также жаропрочных сталей без охлаждения. Стойкость инструментов из этой стали в 15—30 раз выше стойкости инструментов (сталь марки P18), используемых для резания заготовок из титановых сплавов, и в 6—10 раз превышает стойкость таких инструментов, применяемых для резания заготовок из марганцовистых и жаропрочных сталей. Б. с. используют также для изготовления подшипников качения, эксплуатируемых в условиях повышенного износа и нагреваемых до t -ры 400—500° С. Марки и химический состав Б. с. включены в ГОСТ 19265—73.

Лит.: Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали. Справочник. М., 1975; Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., 1975. Ю. А. Геллер.

БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ — портландцемент, отличающийся от обычного *портландцемента* быстрым нарастанием *прочности* в первые трое суток твердения. Повышенная прочность Б. п. в начальные сроки твердения обуславливается минералогическим составом портландцементного клинкера,

вещественным составом и степенью помола цемента. Состав клинкера Б. п.: суммарное содержание быстротвердеющих минералов (трехкальцевого силиката и трехкальцевого алюмината) — 60—65%; $\text{CaO}_{\text{св}}$ — не более 0,5%; MgO — не более 5%. Содержание SO_3 в цементе — 1,5—3,5%. Для произ-ва Б. п. применяют те же сырьевые материалы, что и для производства обычного цемента, однако они должны быть возможно более однородными по составу и не содержать или содержать в малом количестве посторонние примеси (MgO , SO_3 , R_2O). При *обжиге* клинкера для Б. п. применяют беззольное или малозольное топливо. Помол ведут в мельницах, оборудованных сепараторами различных систем, до удельной поверхности 3500 $\text{см}^2/\text{г}$ (для обычного цемента — 2800—3000 $\text{см}^2/\text{г}$). При помоле допускается введение активных минеральных *добавок* (10% от массы цемента) или доменных гранулированных *шлаков* (до 15%). Через трие суток нормального твердения прочность на сжатие Б. п. составляет не

менее 250 $\text{кгс}/\text{см}^2$, на изгиб — не менее 40 $\text{кгс}/\text{см}^2$. По прошествии 28 суток прочность на сжатие достигает 400 $\text{кгс}/\text{см}^2$ и выше. При тепловлажностной обработке (пропаривании) прочность Б. п. на сжатие достигает через сутки 70—90% прочности цемента, твердевшего 28 суток в нормальных условиях. В процессе хранения Б. п. теряет свою активность быстрее, чем обычный портландцемент. Разновидностью Б. п. является особо быстротвердеющий портландцемент, отличающийся не только большой скоростью твердения в начальный период, но и интенсивным нарастанием прочности (высокой активностью). Б. п. применяют для изготовления сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций, которым необходимо придать повышенную начальную прочность. Хим. состав и свойства быстротвердеющего портландцемента регламентируются ГОСТом 10178—62.

Лит.: Кравченко И. В., Власова М. Т., Юдович Б. Э. Высокопрочные и особо быстротвердеющие портландцементы. М., 1974; Совещание по проблемам производства и применения в строительстве высокопрочных и быстротвердеющих цементов. Доклады. М., 1968.

И. В. Кравченко.

В

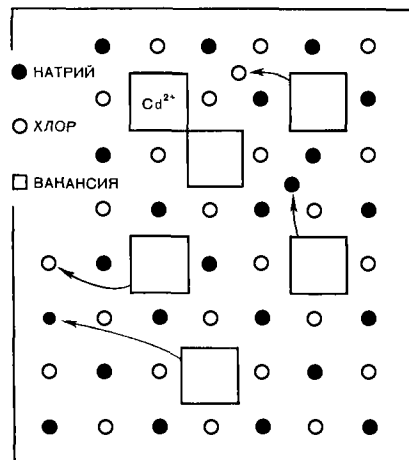
ВАКАНСИИ (от лат. *vacans* — пустующий, свободный) — узлы кристаллической решетки, не содержащие молекул, атомов или ионов. Относятся к точечным *дефектам в кристаллах*. Представление о В. сложилось в конце 20-х — начале 30-х гг. 20 в. Совокупность В. и атома, перешедшего в междоузлие, наз. *дефектом по Френкелю*, а отдельные В. при отсутствии атомов в междоузлиях — *дефектом по Шоттки*. В ионных кристаллах, если нет дефектов др. типов, для соблюдения электронейтральности необходимо образование

одинакового количества анионных и катионных вакансий. Часто электронейтральность в таких кристаллах обеспечивается наличием в них и др. дефектов, напр. двухвалентных примесных ионов в материале, содержащем одновалентные ионы (рис.). При т-ре выше абс. нуля в кристаллах может существовать термодинамически равновесная концентрация В. (C), образующихся вследствие теплового движения атомов и др. час-

тиц, $C = \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right)$, где Q — энергия образования одной вакансии;

и — постоянная Больцмана; T — абс. т-ра. Возможность такого существования связана с тем, что увеличение энергии из-за наличия В. компенсируется приростом энтропии, обусловленным повышением степени разупорядочения структуры. Энергию образования и концентрацию В. можно определить теоретически и экспериментально. Теоретические расчеты обычно основываются на представлении, что энергия образования В. равна энергии, затрачиваемой на удаление атома изнутри кристалла на бесконечность и последующее возвращение его на поверхность кристалла, за вычетом энергии, связанной с перераспределением электронов и атомов вокруг образовавшихся вакансий. Подсчитано, что у разных материалов $Q \approx 0,2 \div 2$ эв (напр., у меди $0,8 \div 1,2$ эв). Экспериментальное определение энергии образования В. основано на учете изменения физ. свойств материала. Обычно $Q_{\text{теор}} = Q_{\text{эксп}}$, а количество термодинамически равновесных В. вблизи т-ры плавления кристалла составляет $0,1 \div 1\%$ от числа атомов. Возникновению В. способствует наличие др. дефектов (дислокаций, блоков мозаики, микротрещин и др.), к-рые могут быть источниками и стоками вакансий. В больших количествах В., особенно дефекты по Френкелю,

возможные способы образования вакансий в ионных кристаллах.



возникают вследствие воздействия проникающей радиации. Кроме того, они образуются в процессе диффузионного отжига. При закалке кристаллов с высокой т-ры В. могут объединяться в пары (б и в а к а н с и и) или более сложные комплексы. Термодинамически равновесное количество бивакансий много меньше количества одиночных В., а более сложных вообще незначительно. В. уменьшают плотность, вызывают ионную электропроводность, изменяют решеточную теплопроводность, термоэдс, играют важную роль в таких диффузионных процессах (см. Диффузия), как отжиг, химико-термическая обработка, спекание металлических порошков и др.

Лит.: Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. Пер. с англ. М., 1962; Дамаск А., Динс Дж. Точечные дефекты в металлах. Пер. с англ. М., 1966.

Н. Н. Новиков.

ВАКУУМИРОВАННАЯ СТАЛЬ (от лат. vacuum — пустота) — сталь, улучшенная вакуумированием. Используется с 50-х гг. 20 в. Вакуумированными могут быть, напр., конструкционная сталь, жаропрочная сталь, нержавеющей сталь, трансформаторная сталь, рельсовая сталь. В. с. отличается от обычной стали более высокими (в среднем на 10—15%) ударной вязкостью, относительным сужением и удлинением, содержит меньше газов (азота, водорода, кислорода) и неметаллических включений. Хорошо сваривается. При кристаллизации В. с. уменьшается газовая пористость и рыхлость. В процессе разливки устраняется возможность вторичного окисления стали, образования плен и заворотов, в процессековки и прокатки уменьшается количество поверхностных и внутренних трещин и рвантин. Незначительное содержание водорода в В. с. уменьшает вероятность образования флокенов. В. с. подвергают такой же горячей мех. обработке давлением, как и невакуумированные стали. Термическая обработка В. с. (за исключением отжига послековки) не отличается от принятой для стали определенной марки. В. с. получают вакуумированием в печи, в ковше, при разливке.

Кроме того, распространено порционное и циркуляционное вакуумирование, а также вакуумирование с подогревом металла в процессе обработки. Остаточное давление при вакуумировании, напр., жаропрочных нержавеющей сталей достигает 0,1—0,01 мм рт. ст. Из В. с. изготавливают фасонный и листовой прокат, поковки.

Лит.: Самарин А. М. Обработка жидкой стали в вакууме. М., 1960.

Н. И. Гончаренко.

ВАКУУМНАЯ СТОЙКОСТЬ — свойство материала сопротивляться термическому разрушению при нагреве в вакууме. Мерой В. с. служат скорость испарения или диссоциации материала в вакууме и давление образовавшегося пара. При нагреве в вакууме неорганических мате-

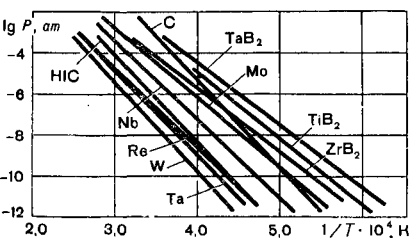
риалов происходят или сублимация, или диссоциация, сопровождающаяся сублимацией летучих компонентов, или распад материала на газообразные и жидкие либо твердые вещества с меньшей концентрацией компонента, перешедшего в газовую фазу. У некоторых материалов эти процессы происходят одновременно. Скорость испарения и давление пара зависят от т-ры и, согласно молекулярно-кинетической теории газов, связаны соотношением $P = n(2\pi RT)^{1/2}$, где P — давление пара; n — скорость испарения (число молей, испарившихся с единицы поверхности за единицу времени); R — универсальная газовая постоянная; M — мол. масса пара; T — абс. т-ра, при к-рой происходит испарение. В узком интервале т-р зависимость логарифма скорости испарения, а также логарифма дав-

Скорость испарения в вакууме (мера вакуумной стойкости) тугоплавких материалов

Материал	Температура, К	Скорость испарения, г/см ² .сек	Температура, К	Скорость испарения, г/см ² .сек	Температура, К	Скорость испарения, г/см ² .сек	Температура, К	Скорость испарения, г/см ² .сек	Температура, К	Скорость испарения, г/см ² .сек
Вольфрам	2230	10 ⁻¹¹	2480	10 ⁻⁹	2810	10 ⁻⁷	3220	10 ⁻⁵	—	—
Тантал	2100	10 ⁻¹¹	2340	10 ⁻⁹	2650	10 ⁻⁷	3020	10 ⁻⁵	—	—
Рений	2060	10 ⁻¹¹	2300	10 ⁻⁹	2620	10 ⁻⁷	3040	10 ⁻⁵	—	—
Графит	2000	10 ⁻¹¹	2200	10 ⁻⁹	2450	10 ⁻⁷	2800	10 ⁻⁵	3300	10 ⁻³
Ниобий	1930	10 ⁻¹¹	2130	10 ⁻⁹	2400	10 ⁻⁷	2750	10 ⁻⁵	3250	10 ⁻³
Осмий	1870	10 ⁻¹¹	2080	10 ⁻⁹	2350	10 ⁻⁷	2700	10 ⁻⁵	3150	10 ⁻³
Молибден	1750	10 ⁻¹¹	1960	10 ⁻⁹	2230	10 ⁻⁷	2560	10 ⁻⁵	3020	10 ⁻³
Карбид тантала	—	—	2420	10 ⁻⁹	2730	10 ⁻⁷	3130	10 ⁻⁵	3660	10 ⁻³
Карбид гафния	2070	10 ⁻¹¹	2260	10 ⁻⁹	2530	10 ⁻⁷	2910	10 ⁻⁵	3400	10 ⁻³
Карбид циркония	1980	10 ⁻¹¹	2190	10 ⁻⁹	2460	10 ⁻⁷	2820	10 ⁻⁵	3330	10 ⁻³
Карбид ниобия	1700	10 ⁻¹¹	2020	10 ⁻⁹	2460	10 ⁻⁷	3140	10 ⁻⁵	—	—
Борид циркония	1690	10 ⁻¹¹	1940	10 ⁻⁹	2200	10 ⁻⁷	2500	10 ⁻⁵	3000	10 ⁻³
Борид титана	1600	10 ⁻¹¹	1800	10 ⁻⁹	2030	10 ⁻⁷	2350	10 ⁻⁵	2750	10 ⁻³
Борид тантала	1520	10 ⁻¹¹	1720	10 ⁻⁹	1930	10 ⁻⁷	2200	10 ⁻⁵	2950	10 ⁻³
Оксид циркония	—	—	1880	10 ⁻⁹	2200	10 ⁻⁷	2550	10 ⁻⁵	3020	10 ⁻³
Оксид бериллия	—	—	1770	10 ⁻⁹	2040	10 ⁻⁷	2350	10 ⁻⁵	2750	10 ⁻³
Оксид тория	—	—	1730	10 ⁻⁹	2020	10 ⁻⁷	2330	10 ⁻⁵	2740	10 ⁻³
Оксид урана	—	—	1660	10 ⁻⁹	1870	10 ⁻⁷	2100	10 ⁻⁵	2420	10 ⁻³
Оксид магния	—	—	1460	10 ⁻⁹	1650	10 ⁻⁷	1860	10 ⁻⁵	2150	10 ⁻³

давления пара от обратной т-ры $1/T$ (рис.) описывается линейным уравнением. Скорость испарения в вакууме и давление пара являются одними из осн. характеристик, определяющих температурный предел практического использования и срок службы неорганических материалов. Среди этих материалов миним. значениями скорости испарения в вакууме и давления пара при т-ре 2500—3000 К обладает вольфрам. Большие значения — у тантала, рения, карбидов тантала, гафния и ниобия, боридов и окислов тугоплавких металлов (табл.). В общем случае испарение неорганических материалов является неравновесным стационарным процессом; поэтому значения скорости испарения и давления пара этих материалов часто меньше значений скорости испарения и давления пара, вычисленных по термодинамическим данным. Для нахождения скорости испарения в вакууме и давления пара используют преимущественно метод Ленгмюра, эффузионный метод Кнудсена и метод изотопного обмена. Метод Ленгмюра основан на определении скорости испарения материала с открытой поверхности и отличается высокой чувствительностью, несложностью аппаратуры. По методу Кнудсена измеряют скорость истечения пара из замкнутого сосуда через калиброванное отверстие. Скорость испарения рассчитывают по изменению массы сосуда, по количеству собранного конденсата или по плотности мол. пучка, измеренной по камилюбо его параметрам. В основу метода изотопного обмена положено измерение скорости обмена атомами между двумя образцами материала оди-

Зависимость давления пара (меры вакуумной стойкости) материалов от обратной температуры.



накового химического и разного изотопного состава при постоянной температуре исследования. См. также *Летучесть*.

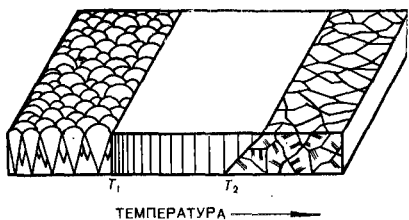
Лит.: Несмеянов А. Н. Давление пара химических элементов. М., 1961; Куликов И. С. Термическая диссоциация соединений. М., 1969; Котельников Р. Б. [и др.]. Особо тугоплавкие элементы и соединения. Справочник. М., 1969; Хирс Д., Паунд Г. Испарение и конденсация. Пер. с англ. М., 1966. А. С. Болгар.

ВАКУУМНЫЕ ПОКРЫТИЯ — покрытия, наносимые на поверхность металлических и неметаллических изделий в вакууме. Наиболее распространены вакуумные *защитные покрытия*. Различают В. п. металлические и неметаллические. При формировании В. п. наносимый материал распыляют или испаряют, создавая направленный поток его частиц, а затем конденсируют на поверхности изделия (материале основы). Эту поверхность предварительно промывают в водных растворах, бензине, спирте, ацетоне или др. веществах, а затем очищают в вакууме (нагревом до соответствующих т-р или в тлеющем разряде). Структура и свойства материала покрытия (рис.) зависят гл. обр. от т-ры материала основы, а также от скорости конденсации, энергии частиц потока, глубины вакуума (см. вклейку между сс. 256 и 257). При увеличении т-ры основы наблюдаются характерные температурные границы T_1 и T_2 , равные соответственно 0,25—0,33 и 0,45—0,50 т-ры плавления испаряемого материала. Если т-ра материала основы ниже т-ры T_1 , то покрытия, как правило, имеют высокую *твердость*, низкую *плотность* и *пластичность*. В интервале т-р T_1 — T_2 плотность и пластичность покрытия увеличиваются, а твердость понижается. У толстых покрытий (более 1 мкм) характерная *столбчатая структура*. Если т-ра материала основы выше т-ры T_2 , то структура и св-ва материала покрытия соответствуют структуре и св-вам материалов, прошедших рекристаллизационный *отжиг*. При очень высокой т-ре материала основы конденсация нарушается вследствие реиспарения с его поверхности

материала покрытия. Адгезия материала покрытия с материалом основы определяется т-рой, способом подготовки и очистки поверхности изделия, энергией наносимых частиц, разностью коэфф. термического расширения материалов основы и покрытия, структурой и св-вами переходной зоны материал основы — материал покрытия, что и учитывают при выборе оптимальных условий для нанесения покрытий. В. п. наносят, используя гл. обр. катодное распыление, термическое и электроннолучевое испарение, а также сочетая эти способы. Для катодного распыления прибегают к бомбардировке наносимого материала ионами различных элементов (в т. ч. и ионами элементов, из которых состоит облучаемое изделие, т. е. осуществляют самораспыление). Материал распыляется, если энергия ионов превышает некоторую пороговую энергию (у большинства материалов 1—100 эв). Интенсивность процесса характеризуют коэфф. распыления, равным отношению числа распыленных атомов к числу бомбардирующих ионов, т. е. числом атомов вещества, «выбитых» одним ионом. Коэффициенты распыления чистых металлов, бомбардируемых ионами аргона с энергией 100—600 эв, равны 0,1—3,4. Если при катодном распылении многокомпонентной системы (напр., сплава) коэффициенты адгезии атомов каждого из компонентов этой системы к материалу основы примерно одинаковы, хим. состав покрытия соответствует хим. составу распыляемого катода. Для получения покрытия из хим. соединений, напр. окислов или нитридов, металлы распыляют в среде соответствующих газов или их смесей при давлении 10^{-3} — 10^{-2} мм рт. ст. (реактивное катодное распыление). Частичная ионизация газов способствует их реакциям с распыляемым металлом на катоде с последующим переносом образовавшегося хим. соединения на материал основы или реакциям непосредственно на материале основы в процессе формирования покрытия. Наиболее часто катодное распыление

осуществляют в тлеющем разряде, возбуждаемом в аргоне или других инертных газах при давлении (20 — 100) 10^{-3} мм рт. ст. и напряжении 1—5 кв. Катодом служит распыляемый материал, а изделие присоединено к заземленному аноду или воспринимает небольшой отрицательный (относительно анода) потенциал, что способствует уменьшению количества газов, адсорбированных материалом основы под действием ионной бомбардировки. Чтобы снизить адсорбцию газов и увеличить скорость распыленных частиц, процесс ведут при более низком давлении (10^{-3} мм рт. ст.), а разряд поддерживают с помощью термоэлектронной эмиссии или высокочастотного электромагнитного поля. Скорость нанесения покрытия катодным распылением обычно составляет 100—2000 Å/мин. Катодное распыление проводят в вакуумных камерах, создавая тонкие (толщиной менее 1 мкм) покрытия с различными физ.-хим. свойствами (высокоомные, диэлектрические, полу- и сверхпроводящие, с особыми магнитными и оптическими свойствами). Такие покрытия служат конструктивными элементами в различных схемах, устройствах и приборах микроэлектронной, измерительной, вычислительной и криогенной техники. Термическое испарение осуществляют с помощью различных источников нагрева и соответствующих устройств в вакууме 10^{-3} — 10^{-7} мм рт. ст. (иногда для улучшения структуры покрытий создают более глубокий вакуум). Простейшие испарители — плоская спираль или спираль-«корзинка» из вольфрамовой проволоки, непосредственно нагреваемые электр. током.

Структура вакуумного покрытия.



В «корзинку» помещают материал (напр., алюминий, медь, серебро, золото), слабо взаимодействующий при испарении с вольфрамовой проволокой. Некоторые испарители представляют собой «лодочки» или тигли, нагреваемые радиацией, действием тока или высокочастотного электр. поля. Чтобы увеличить и равномерно распределить общий поток пара, одновременно используют несколько источников нагрева, располагая их в пространстве в соответствии с формой поверхности, на которую наносят покрытие. Термическое испарение дает возможность наносить тонкие покрытия из относительно легкоплавких металлов и некоторых соединений на стекло, пластмассы, ткани и многие др. материалы. Недостаток термического испарения обусловлен взаимодействием расплавленного металла с материалом испарителя, к-рое сокращает срок эксплуатации нагревательного устройства, загрязняет покрытие, не позволяет испарять многие химически активные и тугоплавкие металлы и соединения. Наиболее универсально электроннолучевое испарение с использованием электроннолучевых пушек, генерирующих быстролетящие электроны (см. *Электроннолучевой нагрев*). По этому способу испаряют (как правило, из медного водоохлаждаемого тигля) все материалы, включая вольфрам и тугоплавкие соединения (*карбиды, бориды, окислы*). Мощность электроннолучевых испарителей — от десятков ватт до 100 и более киловатт, а производительность — до десятков килограммов пара в час. Испаряя одновременно несколько простых материалов, получают многокомпонентные и многофазные покрытия, в частности дисперсноупрочненные (см. *Дисперсноупрочненные материалы*). Электроннолучевым испарением получают тонкие и толстые (1—1000 мкм) покрытия: коррозионностойкие, *сверхтвердые покрытия, жаростойкие покрытия, износостойкие покрытия*. Действуют высокопроизводительные непрерывные линии для нанесения защитных покрытий из алюминия, хрома, титана или никеля на движущуюся полосу, ленту или проволоку из цветных и

черных металлов. Шлюзовые устройства на этих линиях позволяют непрерывно подавать полуфабрикаты в вакуумную камеру. Введение небольшого количества активных газов при давлении $5 \cdot 10^{-3}$ — 10^{-3} мм рт. ст. в процессе электроннолучевого испарения дает возможность осуществлять реактивное испарение, по физ. сущности близкое к реактивному катодному распылению. Частичная ионизация активного газа осуществляется прямым электронным пучком и вторичными электронами. При «ионном напылении» пары материала, образовавшиеся во время термического испарения, пропускают через зону газового разряда, где они частично ионизируются. Положительные ионы пара, двигаясь к поверхности изделия (с отрицательным потенциалом), ускоряются и при встрече передают ей свою энергию, что способствует улучшению структуры и адгезии покрытия по сравнению с термическим испарением без ионизации. Поскольку при «ионном напылении» происходит рассеяние атомов и ионов испаряемого материала атомами и ионами газа, создается возможность получать покрытия на поверхностях, которые не находятся на пути прямолинейного движения частиц. Перспективно т. н. взрывное испарение материалов под воздействием мощного луча лазера. Скорость такого испарения достигает 10—100 мкм/сек. Скорость нанесения покрытий термическим и электроннолучевым испарением, а также сочетанием их — 1—100 мкм/мин. В. п. используют в машиностроении, микроэлектронике, вычислительной технике.

Лит.: Плешивцев Н. В. Катодное распыление. М., 1968; Мовчан Б. А., Демчишин А. В. Исследование структуры и свойств толстых вакуумных конденсатов никеля, титана, вольфрама, окиси алюминия и двуокиси циркония. «Физика металлов и металлоупрочнение», 1969, в. 4; Ройх И. Л., Колтунова Л. Н. Защитные вакуумные покрытия на сталях. М., 1971; Металлизация сталей и сплавов в вакууме. К., 1974.

Б. А. Мовчан.

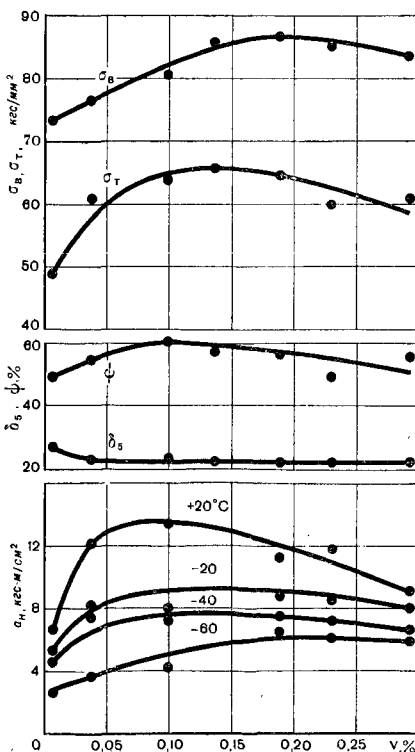
ВАНАДАТЫ — соли ванадиевых кислот. В 60-х гг. 18 в. англ. химик Г. Э. Роско получил чистые

В. щелочных и некоторых др. металлов. В. встречаются в виде минералов: ванадинита $Pb_5(VO_4)_3Cl$, карнотита $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$, тююмунита $Ca(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 8H_2O$, ферванита $FeVO_4 \cdot 2H_2O$, роосита $Ca(VO_3)_2 \cdot 4H_2O$ и др. В. разнообразны по составу. В зависимости от кислотности (рН) среды и концентрации исходных растворов могут образовываться: метаванадаты (напр., $Ca(VO_3)_2 \cdot H_2O$); ортованадаты ($Na_3VO_4 \cdot nH_2O$); диванадаты (например, $Pb_2V_2O_7$) и сложные поливанадаты ($SrV_6O_{16} \cdot 3H_2O$, $Ba_3V_{10}O_{23} \cdot xH_2O$ и др.). Известны также т. н. гетерополиванадаты ($Na_4V_2W_4O_{19} \cdot xH_2O$, $K_5V_3W_3O_{19} \cdot yH_2O$ и другие). С понижением рН водных растворов В. происходит превращение одного вида ванада-ионов в другие: VO_4^{3-} , HVO_4^{2-} , $H_2V_2O_7^{2-}$, $V_3O_9^{3-}$, $V_{10}O_{28}^{6-}$, $HV_{10}O_{28}^{5-}$, $H_2V_{10}O_{28}^{4-}$ и VO_2^+ . При $pH < 7,2$ в концентрированных растворах есть ионы $V_{10}O_{28}^{6-}$, $HV_{10}O_{28}^{5-}$ и $H_2V_{10}O_{28}^{4-}$, в разбавленных — ион $V_3O_9^{3-}$, входящий в состав метаванадатов. Хорошо растворимы в воде бесцветные метаванадаты щелочных металлов, магния и аммония. В щелочных растворах наиболее устойчив ион VO_4^{3-} , к-рый входит в состав бесцветных и растворимых в воде ортованадатов щелочных (типа $K_3VO_4 \cdot 9-12H_2O$), окрашенных в желтый цвет нерастворимых солей щелочноземельных — типа $Ca_3(VO_4)_2 \cdot 10H_2O$ — и редкоземельных (типа $GdVO_4 \cdot 2H_2O$) металлов, оранжевого цвета солей серебра и ртути, красных — таллия. Ортованадаты кадмия, кальция и свинца образуют с хлоридами и фторидами соединения $M_5(VO_4)_3A$, где М — кадмий, кальций, свинец; А — фтор, хлор. В. получают растворением пятиоксида ванадия V_2O_5 в щелочах, а также сплавлением ее с окислами, карбонатами и нитратами соответствующих металлов, взятых в стехиометрических количествах. Труднорастворимые В. выделяют из водных растворов при дей-

ствии В. щелочного металла (аммония) на растворы нитратов соответствующих металлов. В. используют как катализаторы, протраву при крашении хлопчатобумажных тканей, в стекольном произ-ве. Они входят в состав глазурей, к-рыми покрывают фарфоровые изделия. Твердые растворы ортованадатов иттрия — европия применяют в качестве красного люминофора в цветных телевизорах. В. кальция, активированный неодимом, используют в лазерах, метаванадат аммония — для получения др. соединений ванадия, метаванадат кальция — для выплавки феррованадия. Минерал ванадинит используют для получения свинца и ванадия, карнотит и тююмунит — сырье для получения урана.

Лит.: Поляков А. Ю., Самарин А. М. Окислы ванадия. «Успехи

Зависимость механических свойств ванадиевой стали марки 15Г2АФ от содержания ванадия.



мий», 1950, № 5; Голубуб А. М. «Журнал неорганической химии», 1973, № 5; Киффер Р., Браун Х. Ванадий, ниобий, тантал. Пер. с нем. М., 1968; Рипан Р., Четяцу И. Неорганическая химия. т. 2. Пер. с румын. М., 1972.

[А. М. Голуб.]

ВАНАДИЕВАЯ СТАЛЬ — сталь, легированная ванадием. Впервые начала применяться во Франции в конце 19 в. К В. с. относятся мн. конструкционные стали (табл.), инструментальные стали, теплоустойчивые стали, легированные, наряду с др. хим. элементами, ванадием. Осн. особенности влияния ванадия на св-ва стали обусловлены процессами карбидо- и нитридообразования. Ванадий, являясь сильным карбидообразующим элементом, образует с углеродом стали карбид ванадия, с азотом — карбонитрид ванадия или его нитрид. Все три фазы имеют однокристаллическую гранцентрированную кубическую решетку типа NaCl. Образование дисперсных карбидов (нитридов) ванадия вызывает дисперсионное твердение (упрочнение) сталей. Кроме того, легирование стали ванадием способствует получению мелкозернистой структуры (см. Структура металла), уменьшению склонности к перегреву (см. Перегрев металла), разупрочнению при отпуске, повышению износостойкости. В. с. характеризуется хорошими литейными св-вами, лучше сваривается, чем углеродистая сталь. Дисперсионное твердение В. с. происходит в горячекатаном и нормализованном состоянии или

после закалки и высокого отпуска. Введение ванадия (0,05—0,1 %) в конструкционные стали повышает их прочность на 10—20%, не уменьшая заметно пластичность и ударную вязкость. Лучшее сочетание мех. св-в у таких сталей наблюдается при совместном легировании азотом (0,015—0,025%) и ванадием (0,08—0,15%). Упрочнение достигает 25—30% при неизменной или даже меньшей склонности к хрупкому разрушению (рис.), обусловленному мелкозернистой структурой стали. При большем содержании ванадия существенно увеличивается хладноломкость конструкционной стали. Добавка ванадия (около 0,04%) в кипящую сталь для глубокой вытяжки уменьшает склонность к деформационному старению. В инструментальных сталях марок 7ХФ, 8ХФ, 9ХФ и др. содержание ванадия составляет 0,20%. Он уменьшает их склонность к перегреву и позволяет вследствие изменения т-ры нагрева под закалку регулировать толщину закаленного слоя. Все быстрорежущие стали марок Р18, Р9, Р6М3 и др. легируют ванадием (1—5%). С повышением содержания ванадия увеличивается количество его нерастворенных карбидов, что приводит к возможному уменьшению содержания карбидов вольфрама, т. е. уменьшению содержания дефицитного вольфрама в стали

Химический состав и механические свойства конструкционных ванадиевых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %					σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	a_H , кгс·м/см ²
	C	Mn	Si	V	Прочие					
08Фкп	≤0,08	0,04	—	0,03	—	26—33	23	44	—	—
18Ф	0,18	0,5	—	0,06	—	46	33	21	—	3 (т-ра — 40° С)
15ГФ	0,15	1,05	—	0,07	—	52	36	21	—	3 (т-ра — 40° С)
15Г2СФ	0,15	1,65	—	0,07	0,5 Si	55	40	18	—	3 (т-ра — 40° С)
15Г2АФ	0,15	1,5	—	0,11	0,02 N	60	45	18	—	3 (т-ра — 60° С)
30ХЗМФ	0,30	—	2,5	0,09	0,25 Mo	100	85	12	55	10 (т-ра + 20° С)
35ХГФ	0,35	1,1	1,15	0,09	—	93	80	14	55	8 (т-ра + 20° С)
30Х2АФ	0,35	—	2,1	0,10	0,025 N 0,04 Al	110	100	12	55	6 (т-ра + 20° С)
50ХФ	0,50	0,65	0,95	0,20	—	130	110	8	35	6 (т-ра + 20° С)

Вследствие этого широкое применение находят быстрорежущие стали повышенной производительности с уменьшенным содержанием вольфрама и повышенным содержанием ванадия (напр., стали марок Р9М4К8, Д12Ф4К5 и Р9, содержащие 9—12% W и 2—4% V). Ванадий содержится в *штамповые стали* марок Х12Ф1, ХСВФ, 4Х5В4ФСМ, котельные теплоустойчивые стали марок 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 1Х11В2МФ, *жаропрочные стали и жаропрочные сплавы, титана сплавы* и др. Из В. с. изготовляют кузова автомобилей, изделия глубокой вытяжки, газопроводные трубы, пружины и рессоры, краповые колеса. Применение В. с. позволило уменьшить массу металлических строительных конструкций на 10—15%, повысить надежность и долговечность различных деталей и механизмов. Марки, хим. состав и мех. свойства В. с. приведены в ГОСТах 4543—71, 5950—73, 19265—73 и 19282—73.

Лит.: Гольцов И. Н., Гольдштейн М. И., Мурзин И. И. Ванадий в стали. М., 1968; Гольдштейн М. И. [и др.]. Упрочнение конструкционных сталей нитридами. М., 1970; Гудремон Э. Специальные стали, т. 2. Пер. с нем. М., 1966.

М. И. Гольдштейн.

ВАНАДИЙ {Vanadium; по имени древнескандинавской богини красоты Ванадис (Vanadis)}, V — хим. элемент V группы *периодической системы элементов*; ат. н. 23, ат. м. 50,9414. Металл серебристо-серого цвета. В соединениях может проявлять степени окисления от +2 до +5. Наиболее стойки и типичны соединения со степенью окисления +5. Природный В. состоит из изотопов ^{51}V (99,75%) и ^{50}V (0,25%); получены изотопы ^{47}V , ^{48}V , ^{52}V и ^{53}V , важнейший из к-рых ^{48}V (период полураспада $16 \pm 0,2$ суток). В. был обнаружен (1801) мекс. минералогом А. М. дель Рио в свинцовой руде. В 1831 существование В. окончательно установил шведский химик Н. Г. Сефстрем. Металлический В. получил (1869) англ. химик Г. Э. Роско восстановлением хлорида (VCl_2) водородом. В пром-сти В. начали применять на рубеже 19—20 вв. в качестве легирующей добав-

ки к стали (произ-во броневых плит во Франции, стали для автомобилей на заводах Форда). Содержание В. в земной коре 0,015%. В. — довольно распространенный, но рассеянный в породах и минералах элемент. Входит в состав более 65 минералов: патронита, карнотита, роскоэлита, мотрамита, деклуазита, ванадинита, туюмунита и др. Содержится в комплексных рудах др. металлов, в веществах органического происхождения (осадочных железных рудах, углях, битумах, нефти и др.), в морской воде. В. привлекают как побочный продукт при переработке уранового сырья, фосфоритов, бокситов и пр. Кристаллическая решетка В. объемноцентрированная, кубическая с периодом $a = 3,024 \text{ \AA}$ (т-ра 25°C); *плотность* В. чистой $99,8—99,9\%$ (т-ра 20°C) $6,11 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}}$ 1950°C ; $t_{\text{кип}}$ 3309°C ; температурный коэфф. линейного расширения (т-ра $20—1100^\circ \text{C}$) $10,9 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; коэфф. *теплопроводности* при т-ре 100 и 500°C соответственно 0,074 и $0,088 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$; ср. значение удельной *теплоты* при пост. давлении и т-ре $20—100^\circ \text{C}$ составляет $0,119 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$; *теплота плавления* $82,5 \text{ кал/г}$; *теплота испарения* 2150 кал/г . Упругость пара: при т-ре 1300 К составляет $1,34 \cdot 10^{-10}$, при т-ре 2000 К — $1,76 \cdot 10^{-3}$, при т-ре 2600 К — $1,47$, при т-ре 3000 К — $26,8 \text{ мм рт. ст.}$. Поперечное сечение захвата тепловых нейтронов $4,5 \pm 0,9 \text{ барн/атом}$. Мех. св-ва в значительной степени зависят от наличия примесей, особенно примесей внедрения. В зависимости от содержания примесей получают В. от хрупкого и твердого ($HV > 300 \text{ кгс/мм}^2$) до пластичного и мягкого ($HV = 60—80 \text{ кгс/мм}^2$). *Микротвердость* чистейшего В. — 65 кгс/мм^2 . Предел прочности В. чистой $99,7—99,9\%$ составляет $32—60 \text{ кгс/мм}^2$, чистой выше $99,9\%$ — $19—22 \text{ кгс/мм}^2$; предел *текучести* соответственно $28—45$ и $11—12 \text{ кгс/мм}^2$. Относительное удлинение в зависимости от чистоты от 17 до 45%, сужение поперечного сечения от 25 до 75—85%. Угол загиба без разрушения чистого В. составляет 180° . Модуль упругости $13\,800—14\,100 \text{ кгс/мм}^2$, модуль сдвига 4730

гс/см², модуль сжимаемости 55 340 гс/см². Удельное электрическое сопротивление В. чистотой 99,9% (т-ра 26° С) $22,6 \cdot 10^{-6}$ ом · см. Ионизационный потенциал 6,8 эв. Работа выхода 3,79 эв. В. — сверхпроводник второго рода, т-ра перехода в сверхпроводящее состояние 5,3 К (99,9% V). Для В. характерны парамагнитные св-ва. Отличается высокой хим. стойкостью в органических к-тах, в разбавленных неорганич. к-тах (кроме фтористоводородной к-ты) при охлаждении, в морской воде, растворах различных солей, в расплавах щелочных металлов. Растворяется в плавиковой, концентрированной азотной и серной к-тах, в «царской водке», в расплавленных щелочах. При комнатной т-ре стойкий на воздухе. Окисление начинается при нагревании до т-ры 300° С и становится интенсивным при т-ре 600—700° С, когда образующаяся пятиокись В. расплавляется ($t_{пл}$ 675° С) и стекает с поверхности металла. При повышенной т-ре реагирует с большинством неметаллов, образуя соответствующие соединения (карбиды, нитриды и т. д.). Металлический В. получают восстановлением пятиокиси В. алюминием (металл чистотой 95%, к-рый служит исходным материалом для дальнейшего рафинирования др. методами, для произ-ва феррованадия и сплавов титан — ванадий — алюминий), кальцием или углеродом (использование углерода наиболее перспективно); восстановлением хлорида (VCl_3) жидким магнием; термической диссоциацией йодида (VJ_2) (получаемый металл — наиболее высокой чистоты). Метод термической диссоциации используют и для рафинирования металла. Черновой металл (чистотой 95—99%) рафинируют электролизом в солевой ванне (с помощью расплавленных хлоридов), переплавкой в индукционных, дуговых и электроннолучевых печах, зонной плавкой в высоком вакууме (до чистоты около 99,8—99,9%). Плотный металлический В. получают плавкой, а также прессованием с последующим спеканием или горячим прессованием. Для получения пластичного беспористого В. необходим высокий вакуум

(не ниже 10^{-5} мм рт. ст.) или среда чистого инертного газа, не должно быть взаимодействия с материалом тигля. Плавка возможна в тиглях из BeO , ThO_2 , CeS и CaO (кратковременная). Перспективна бестигельная плавка или плавка в водоохлаждаемом медном тигле. В. можно подвергать деформированию (ковке, волочению) в холодном состоянии с промежуточными отжигами, в горячем состоянии — со спец. защитой (инертным газом, обработкой в оболочке); возможнаковка с кратковременным нагревом на воздухе с последующим удалением поверхностного твердого слоя. При обработке В. резанием применяют высокие скорости резания с небольшой подачей, а в качестве смазки — керосин. Отжиг с целью дегазации, снятия напряжений и получения макс. пластичности целесообразно проводить в высокоом вакууме, в среде очищенного аргона или гелия при норм. или пониженном давлении, т-ра отжига 900—1000° С. Осн. область применения В. — произ-во спец. сталей (см. Ванадиевая сталь). В. может быть использован для изготовления покрытий топливных элементов и оболочек ядерных реакторов. Ванадиевые листы и покрытия применяют в судостроении и хим. аппаратостроении. Ванадиевую фольгу используют в качестве прослойки при плакировании стали и тугоплавких металлов титановыми, циркониевыми сплавами, а также сплавами благородных металлов; можно применять В. в качестве высокотемпературного припоя для тугоплавких металлов. Из чистого В. изготавливают антикатоды рентгеновских трубок, рентгеновские фильтры для получения чистого K_{α} -излучения хрома. В. служит основой сверхпроводящих сплавов, твердых сплавов и др. сплавов со спец. св-вами (см. Ванадий сплавы), присадкой к др. переходным металлам. Соединения В. находят применение в химической промышленности (как активные катализаторы), в стекольной, текстильной и др. отраслях пром-сти.

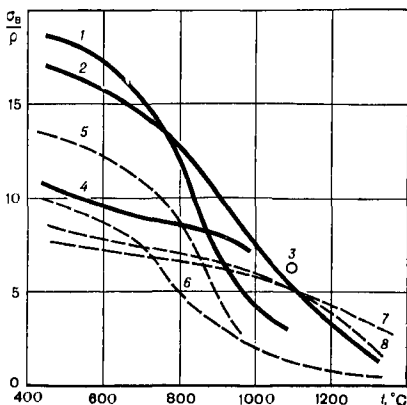
Лит.: Савицкий Е. М., Бурханов Г. С. Металловедение тугоплавких металлов и сплавов. М., 1967; Гончаренко А. С. Электрохимия ванадия и его соединений. М., 1969; Ефимов Ю. В., Барон В. В., Савицкий Е. М. Ванадий и его сплавы. М., 1969; Ростоцкий У. Металлургия ванадия. Пер. с англ. М., 1959; Киффер Р., Браун Х. Ванадий, ниобий, тантал. Пер. с нем. М., 1968; Титц Т., Уилсон Дж. Тугоплавкие металлы и сплавы. Пер. с англ. М., 1969; Стормс Э. Тугоплавкие карбиды. Пер. с англ. М., 1970; Гольдшмидт Х. Дж. Сплавы внедрения, в. 1—2. Пер. с англ. М., 1971; Тот Л. Карбиды и нитриды переходных металлов. Пер. с англ. М., 1974.

Л. А. Третьяченко.

ВАНАДИЯ СПЛАВЫ — сплавы на основе ванадия. Применяются со 2-й половины 20 в. Отличаются относительно высокой жаропрочностью при т-ре 500—600° С, низкой плотностью, коррозионной стойкостью в жидких щелочных металлах, низким сечением захвата быстрых нейтронов, хорошей обрабатываемостью. В. с. подразделяют на конструкционные жаропрочные сплавы и сплавы со специальными физ. и хим. св-вами. К особым относятся сверхпроводящие сплавы. Конструкционные жаропрочные В. с. в свою очередь подразделяют на малолегированные технологические сплавы на основе системы ванадий — титан с различными легирующими элементами и высоколегированные и более прочные сплавы на основе систем ванадий — ниобий и ванадий — ниобий — тантал. Ванадий является хорошим растворителем многих хим. элементов, поскольку радиус его атома отличается от радиуса этих элементов незначительно. Нисходящий ряд растворимости легирующих элементов в ванадии при т-ре 1000° С ($\sim 0,6 t_{пл}$), близкой к возможным рабочим т-рам жаропрочных В. с., имеет вид: ниобий, хром, молибден, вольфрам — 100%; титан — 95%; рений — 85%; тантал — 27 ÷ 35%; алюминий — 28%; никель < 7%; цирконий — 6%; гафний < 2%; кремний — 0,5 ÷ 2,5%; азот < 1,0%; бор — 0,43%; углерод — 0,1%; кислород < 0,1%. На температуру плавления и прочностные св-ва В. с. при высоких т-рах влияют добавки молибдена, рения, ниобия, танта-

ла, хрома, алюминия, вольфрама и титана, которые повышают или мало снижают т-ру начала плавления. В многокомпонентных сплавах в небольших количествах (для образования гетерофазной структуры) могут быть полезными и те легирующие элементы (напр., цирконий, кремний, углерод), которые в двойных сплавах отнесены к числу неперспективных. Важной характеристикой при выборе легирующих элементов является т-ра рекристаллизации сплавов. Легирование В. с. элементами замещения (ниобием, титаном, гафнием, молибденом и др.) повышает т-ру рекристаллизации примерно на 100° С, причем это повышение слабо зависит от количества вводимого элемента и от набора легирующих. Значительное повышение т-ры рекристаллизации (около 400—500° С) наблюдается при введении в В. с. внедрения фаз (тугоплавких карбидов и др.). Так, если ванадий рекристаллизуется при т-ре 830° С, то В. с., содержащий 5% Ti, 20% Nb и 0,1% В, рекристаллизуется при т-ре 1320° С. По мех. св-вам конструкционные жаропрочные В. с. перспективны при т-ре до 1000—1100° С. Обладая меньшей твердостью и прочностью при комнатной и повышенных т-рах, В. с. по удельной

Зависимость удельной прочности ванадия сплавов ($1 - V - 5\% Ti - 20\% Nb - 1\% Si$; $2 - V - 50\% Nb$; $3 - V - 60\% Nb$; $4 - V - 5\% Ti - 20\% Nb$) и лучших сплавов на основе никеля (5), кобальта (6), молибдена (7) и ниобия (8) от температуры.



прочности превосходят коррозионностойкую сталь, некоторые титановые сплавы, никель-титановые сплавы, молибден-титановые сплавы (рис.). Малолегированные технологические В. с. содержат в качестве основной легирующей добавки титан, который повышает жаропрочность сплава при т-ре не выше 850—900° С. У двойных В. с. с 5—20% Ti при т-ре 650° С (испытания в гелии) *длительная прочность* (σ_{100}) составляет 35 кгс/мм², в то время как у более сложных по составу сплавов (напр., сплава с 50% Ti, 15% Al, 15% Cr, остальное ванадий) она не превышает 15 кгс/мм². Макс. *длительной прочностью* при т-рах 650 и 800° С (47,6 и 19,6 кгс/мм²) отличается малолегированный сплав (2,5% Ti, 1% Si, остальное ванадий). Макс. твердостью в системе ванадий — ниобий обладают сплавы с 36—80% Nb ($HV = 292$ —380), а в системе ванадий — титан — сплавы с 19—81% Ta ($HV = 400$ —460). После рекристаллизации сплав с 50% Ta охрупчивается вследствие выделения на границах зерен второй фазы — хим. соединения TaV₂. *Легирующие* ниобием значительно повышают прочность В. с. при высоких т-рах, улучшает стойкость против окисления. Ниобий подавляет образование жидкого окисла на поверхности В. с. до т-ры 800—900° С. Молибден или вольфрам резко повышают твердость и прочность В. с. при комнатной т-ре, однако при повышенных т-рах прочность этих сплавов меньше прочности сплавов с ниобием или танталом. Высокой прочностью и твердостью до высоких т-р обладают В. с. с хромом ($HV = 200$ при т-ре 1000° С). Однако их практическое применение ограничено вследствие низкой *технологичности*. В. с. с бериллием (0,1 ÷ 1,0%) отличаются большой *хрупкостью*. Добавка углерода к некоторым сплавам системы ванадий — титан, содержащим хром или алюминий, улучшает их *ковкость* и *пластичность* при высоких т-рах, не снижая предела прочности. Наилучшим сочетанием прочностных и пластических характеристик обладает В. с. с 20% Nb и 5% Ti, у которого при т-ре 980° С в отожженном состоянии $\sigma_b =$

$= 48$ кгс/мм² и $\sigma_{0,2} = 44$ кгс/мм² при $\delta = 10\%$. Дополнительное легирование кремнием (0,5%) позволяет повысить жаропрочность этого сплава при кратковременных и длительных испытаниях без существенного снижения пластичности. Такой сплав можно подвергнуть упрочняющей термической обработке, в результате дисперсионного твердения его прочностные характеристики повышаются на 20—50%. Сплавы ванадия с ниобием, содержащие, кроме титана и кремния, другие легирующие элементы (тантал, цирконий, гафний и др.), наряду с жаропрочностью, характеризуются высокой *ударной вязкостью*, особенно при низких т-рах, хорошо деформируются и свариваются контактной и дуговой сваркой. При т-ре 1200—1250° С по удельной жаропрочности эти сплавы превосходят жаропрочные сплавы ниобия и молибдена. Оптимальным сочетанием прочности и пластичности в широком интервале т-р обладает В. с. с 20% Nb, 4% Ti, 1% Zr и 0,07% C. Титан и цирконий при наличии углерода образуют в сплаве тугоплавкие карбиды TiC и ZrC, упрочняющие жаропрочные сплавы при термической обработке. В. с. получают преимущественно вакуумной индукционной и аргоно-дуговой плавкой, реже — электроннолучевым переплавом. Первичную обработку слитков проводят горячим прессованием или ковкой в оболочках при т-ре 900—1450° С. Последующая обработка заключается в тепловой или холодной прокатке на лист или прутки (профиль). Иногда *термомеханическая обработка* выполняется без оболочек, поскольку т-ра плавления материала оболочек ниже т-ры деформирования. Охрупчивание В. с. при легировании уменьшают добавлением *раскислителей*: магния, иттрия, лантана и церия. В. с., содержащие 0,5—2% Y, прокатывают в холодном состоянии до тонкой ленты (0,2 мм). Сплавы, переплавленные с добавкой церия, очищают от кислорода, азота и серы. Сплавы со спец. физ. и хим. св-вами разрабатывают прежде всего применительно к ядерной технике и хим.

машиностроению. В. с. по сравнению с чистым ванадием значительно меньше подвержены проникновению кислорода, что связано с повышением т-ры плавления окислов при легировании. У В. с. (типа сплавов, содержащих 40% Ti и 10% Cr, остальное ванадий; 50% Ti и 10% Al, остальное ванадий; 50% Ti и 15% Cr, остальное ванадий) скорость окисления на порядок ниже, чем у ванадия. По коррозионной стойкости В. с., содержащие 5—50% Nb, сравнимы с коррозионностойкой сталью, а при повышенной т-ре — с лучшими материалами для хим. машиностроения. В. с. используют для *плакирования* ядерных реакторов, охлаждаемых жидким натрием или калием; при этом В. с. практически не взаимодействуют до т-ры 800—900° С с *ядерным горючим* и охлаждающими смесями, обеспечивая защиту от продуктов расщепления. Высокая коррозионная стойкость В. с. в морской воде и во многих хим. агрессивных средах обуславливает применение их как конструктивных материалов в судостроении, для изготовления хим. аппаратуры. Фольгу ванадия и его сплавов используют в качестве прослойки между сталью и титаном или благородными металлами (напр., золотом). Облицовка такими комбинированными материалами удешевляет и расширяет возможности применения хим. аппаратуры. Сплавы ванадия с рением применяют для изготовления неокисляющихся электроконтактов. Возрастает значение В. с. как *сверхпроводящих материалов*, используемых для получения магнитных полей с высокой напряженностью. По сверхпроводящим характеристикам В. с. несколько уступают сплавам систем ниобий — цирконий и ниобий — титан, однако «конкурируют» с ними в конструкциях, где предъявляют жесткие требования к массе приборов. Особенно перспективны сверхпроводящие сплавы ванадия с галлием или кремнием. Так, у сплава ванадия, содержащего 8—18% Ga, критическая т-ра перехода в сверхпроводящее состояние составляет 13,8 К при ве-

личине критического магнитного поля около 200 кэ.

Лит.: Поляков А. Ю. Основы металлургии ванадия. М., 1959; Ефимов Ю. В., Барон В. В., Савицкий Е. М. Ванадий и его сплавы. М., 1969; Савицкий Е. М. [и др.]. Металловедение сверхпроводящих материалов. М., 1969; Ростокер У. Металлургия ванадия. Пер. с англ. М., 1959; Титц Т., Уилсон Дж. Тугоплавкие металлы и сплавы. Пер. с англ. М., 1969. В. Ф. Моисеев.

ВЕЛОСИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЕФЕКТΟΣКОПИИ [от лат. *velox* (velocitas) — быстрый и греч. *μετρέω* — измеряю] — метод *дефектоскопии* материалов, основанный на измерении скорости распространения и амплитуды упругих волн в зоне расположения дефекта; один из методов *акустической дефектоскопии*. Разработан в СССР в 1962. В одном варианте метода используют искательную головку, состоящую из излучающего вибратора частотой $20 \div 70$ кГц и приемника колебаний, расположенных в одном корпусе. В другом варианте излучающий вибратор и приемник колебаний расположены соосно по разные стороны контролируемого изделия. Дефекты, встречающиеся на пути упругих волн от излучателя к приемнику, уменьшают скорость распространения, а следовательно, изменяют фазу их сравнительно со скоростью и фазой в бездефектном материале. Эти изменения, зафиксированные приемником, служат признаком наличия дефектов в исследуемом изделии. Другим признаком является изменение амплитуды колебаний в принятом сигнале. Для В. м. д. применяют ультразвуковые велосиметрические дефектоскопы типа УВФД-1, позволяющие обнаруживать дефекты миним. площадью $1,5 \div 2,0$ см² на глубине до 25 мм. При работе с велосиметрическими дефектоскопами учитывают наличие мертвой зоны, в к-рой дефекты не выявляются. Если контролируют, напр., неметаллическое изделие толщиной до 30 мм, величина мертвой зоны составляет 30—40% его толщины. В. м. д. применяют для обнаружения *расслоений* в слоистых материалах, некоторых *композиционных материалах* (напр., в материалах, армированных углеродистыми волокнами), в *жаростойких мате-*

Лит.: Ланге Ю. В. [и др.]. Дефектоскоп УВФД-1 для контроля многослойных конструкций и изделий из неметаллов. «Дефектоскопия», 1965, № 6; Ланге Ю. В., Шишкина Н. В. Исследование эксплуатационных характеристик ультразвукового велосимметрического метода дефектоскопии. «Заводская лаборатория», 1966, № 1. Л. С. Фельдман.

ВЕРМИКУЛИТ (от латинского *vermiculus* — червячок), $Mg_{0,3-0,5}(H_2O)_{3-5}(Mg_{1,8-2,5}Fe_{0,1-0,2}^{2+}Fe_{0,1-0,8}^{3+}Al_{0,1-0,5}^{3+}Si_{2,8-3,0}O_{10})$ — минерал класса *силикатов*. Представляет собой триоктаэдрическую гидрослюда, в межпакетном пространстве к-рой находятся обменные катионы с оболочкой из молекул воды. В природных В. эти катионы представлены обычно магнием, реже магнием и кальцием. В. в природе образуется при выветривании триоктаэдрических слюд (флогопит, биотита), к-рые, по мере выноса K_2O , окисления FeO и гидратации, превращаются сначала в гидрослюда типа гидрофлогопита, гидробиотита, а затем — в вермикулит. Разности В.: никелевый (до 11,26% NiO) и медистый (до 7% CuO). Хим. состав (%): MgO — 14—25; Fe_2O_3 — 3—17; FeO — 1—3; SiO_2 — 34—42; Al_2O_3 — 10—17; H_2O — 8—15. Примеси: титан, никель, медь, цинк, натрий, калий и др. Структура слоистая, сингония моноклинная. В., как псевдоморфоза по флогопиту или биотиту, встречается в виде кристаллов таблитчатого по (001) облика и псевдогексагональных очертаний. Образует также мелко- и крупночешуйчатые скопления, вкрапленность и гнезда. Плотность 2,4—2,7 г/см³. Твердость 1,0—1,5. Цвет бронзово-желтый, золотисто-коричневый, оливково-бурый, буро-зеленый (см. Цвет минералов). Слабоплеохроичен. Двухосный, отрицательный; $2V = 0-8^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,545-1,581$; $n_p = 1,525-1,561$. На кривых нагревания эндотермические эффекты — в интервалах t -р 150—180; 280—300; 550—600 и 800° С. При быстром нагреве минерал вспучивается (см. Вспучиваемость), увеличиваясь вдоль оси z в 20—30 раз. Искусственные раз-

ности получены в результате высокой способности В. к катионному обмену (150—260 мг-экв на 100 г). При обработке реактивами межслоевой магний замещается кальцием, барием, литием, аммонием, свинцом и цезием. Синтез магний-вермикулита по флогопиту и биотиту осуществляют кипячением в хлориде магния. Биотиты, богатые железом, гидратируются лишь до состояния гидробиотита. В. приурочен к гидрослюдистым корам выветривания площадного, линейного и смешанного типов, наложенных на флогопит- и биотитсодержащие породы. Почти во всех отраслях промышленности используют В. в с п у ч е н н ы й. После отжига получают легкий слюдоподобный материал с высокими тепло- и звукоизоляционными св-вами. В технике В. и гидробиотиты объединяют под назв. «вермикулит». В. применяют в пром-сти строительных материалов (легкий наполнитель для бетонов, сырье для огнестойких тепло- и звукозащитных вермикулитовых плит, керамико- и асбестовермикулитовых изделий, утеплительных штукатурок, ограждающих конструкций), в металлургии (компонент теплозащитных смесей при разливе высоколегированных сталей, для футеровки печей), в хим. пром-сти, транспортном строительстве, космической технике, в производстве холодильного оборудования. См. также Вермикулитобетон.

Лит.: Геология, свойства и применение вермикулита. Л., 1967; Исследование и применение вермикулита. Л., 1969; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 3. Пер. с англ. М., 1966.

Б. Г. Яковлев.

ВЕРМИКУЛИТОБЕТОН — бетон, получаемый в результате твердения минеральной вяжущего материала, наполнителя и воды; разновидность особо легкого бетона. Минеральными вяжущими материалами для В. служат цемент, растворимое стекло, смесь бентонитовой глины с крахмалом или битумом и др., наполнителем — вспученный вермикулит фракций 5—10 мм. Для В. на цементном вяжущем наиболее пригодны белитовый и пуццолановый порт-

ландцементы, шлаковый и нефелиновый цементы. Расход цемента на 1 м³ бетона — 60—500 кг. Смеси пластической консистенции приготавливают в смесителях принудительного действия, смеси жесткой консистенции с осадкой конуса 20—40 мм — в смесителях со свободным падением материала. В. такого типа подразделяют на теплоизоляционный (объемная масса 300—200 кг/м³, прочность на сжатие 2—60 кгс/см², коэфф. теплопроводности 0,07—0,13 ккал/м · ч · град, морозостойкость 1—3 цикла) и конструктивно-теплоизоляционный (соответственно 800—1200 кг/м³, 35—100 кгс/см², 0,12—0,24 ккал/м · ч · град, до 25 циклов). В. на цементном вяжущем неводостоек (водопоглощение 40—150 %), гигроскопичен (гигроскопичность 1—40 % при 60—70 % относительной влажности и 11—12 % при 100 % относительной влажности), усадочные деформации (1,5—3 мм/м) затухают через 25—30 суток, деформация ползучести стабилизируется через 200—400 суток, коэфф. размягчения 0,8—0,6. Свойства такого бетона улучшают введением в смесь низкосортного асбеста или воздухововлекающих поверхностно-активных веществ (напр., абиетата натрия). В. на цементном вяжущем применяют в ограждающих конструкциях для тепло- и звукоизоляции. В. на растворимом стекле приготавливают в лопастных смесителях с добавкой асбеста 4—5-го сортов, кремнефтористого натрия и диатомита. Свойства такого бетона: объемная масса 400—500 кг/м³, прочность на сжатие 5—26 кгс/см², коэфф. теплопроводности 0,09—0,11 ккал/м · ч · град. Используют его для высокотемпературной (до 990° С) изоляции. В. на крахмально-бentonитовом вяжущем приготавливают в лопастных смесителях с добавкой асбеста 5-го сорта. Свойства такого бетона: объемная масса 250—280 кг/м³, прочность на изгиб 2—2,5 кгс/см², коэфф. теплопроводности 0,08 ккал/м · ч · град. Применяют его для высокотемпературной (до 900° С) изоляции. В. на битумно-бentonитовом вяжущем приготавли-

вают в шпоровых смесителях с добавкой асбеста 5-го сорта и сульфитно-спиртовой барды. Свойства такого бетона: объемная масса 280—310 кг/м³, прочность на изгиб 2—2,5 кгс/см², коэфф. теплопроводности 0,08 ккал/м · ч · град. Применяют его для изоляции поверхностей с трой до 60° С.

Лит.: Кальянов П. Н., Мерзляк А. Н. Вермикулит и перлит—пористые заполнители для теплоизоляционных изделий и бетонов. М., 1961; Жуков А. В. Искусственные пористые заполнители из горных пород. К., 1962.

А. В. Жуков.

ВЕСОВОЙ АНАЛИЗ — то же, что и гравиметрический анализ.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ — анализ содержания в материале хим. элементов, связанных химически с определенными атомами или группами атомов; разновидность качественного и количественного химического анализа. В отличие от фазового анализа, предназначенного для разделения и хим. анализа фаз гетерогенной системы (напр., металлического сплава), в процессе В. а. устанавливают хим. природу атомов (совокупности атомов), с к-рыми связан тот или иной хим. элемент в изучаемом материале; определяют количество одного и того же хим. элемента, связанного с этими атомами (совокупностями атомов); устанавливают содержание различных валентных форм одного и того же элемента в материале. Следовательно, с помощью В. а. определяют не хим. соединения (напр., сульфид меди, карбонат свинца), поскольку они могут и не образовывать в материале самостоятельных фаз, а лишь элементы, химически связанные с определенными атомами (совокупностью атомов) материала (напр., медь сульфидную, свинец карбонатный). В связи с этим обычно оперируют понятиями о «форме нахождения», «проявления» того или иного хим. элемента в исследуемом материале. Оsn. приемом В. а. является перевод в раствор одного из компонентов сложной смеси веществ с помощью избирательного растворителя. В качестве растворителей применяют растворы различных кислот, щелочей и солей. При исследовании материалов, содержащих анализируемый элемент в соединениях, близких

по хим. свойствам, выбор избирательного растворителя связан со значительными трудностями. Удовлетворительным обычно считается реактив, переводящий в раствор не менее 90% искомого количества элемента и не растворяющий другие соединения этого же элемента более чем на 10% каждое. Скорость и полнота растворения того или иного соединения зависят от хим. природы элемента и атомов (совокупности атомов), с к-рыми он связан, кристаллической структуры обрабатываемого вещества, состояния поверхности и размеров его частиц, а также от т-ры, концентрации растворителя и др. Большую роль в методе избирательного растворения играют процессы комплексообразования между растворяемым веществом и растворителем. Полнота растворения зависит от соотношения произведения растворимости (точнее — произведения активностей) вещества и константы нестойкости образующегося растворимого комплексного соединения. При В. а. избирательность растворителей часто связана с различной скоростью их взаимодействия с разделяемыми веществами. Вследствие этого для получения достаточно точных и хорошо воспроизводимых результатов анализа сложных материалов строго соблюдают рекомендованные условия его проведения — т-ру, концентрацию реагентов и пр. В. а. применяется для изучения *полупроводниковых ма-*

териалов, тугоплавких соединений и др.

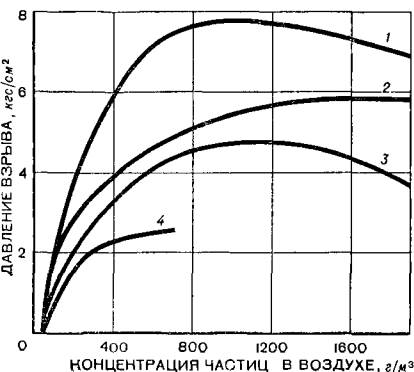
Лит.: Христофоров Б. С. Избирательные растворители в вещественном анализе. Новосибирск, 1964; Клячко Ю. А. Фазовый анализ и перспективы использования его в анализе сложных полупроводниковых материалов. В кн.: Анализ полупроводниковых материалов. М., 1968.

Т. Н. Назарчук.

ВЗРЫВАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ — свойство материалов внезапно изменять физ. и хим. состояние, быстро выделяя энергию. Быстрое выделение энергии приводит, как правило, к разогреву, движению и сжатию продуктов взрыва и окружающей среды, возникновению интенсивного скачка давления, разрушению и разбрасыванию этой среды. Взрываться способны как взрывчатые вещества — хим. соединения или смеси веществ, на к-рые воздействует какой-либо источник энергии, так и газовзвеси горючих материалов с характерным для них тепловым взрывом (от удара и трения, контакта с нагретым телом, электрического разряда).

При тепловом взрыве нарушается тепловое равновесие в системе: поступление тепла, выделяющегося при протекании хим. реакций, становится при определенных условиях больше теплоотдачи. Нарушение теплового равновесия вызывает лавинообразное нарастание скорости реакции, завершающееся появлением пламени и возникновением в некоторой части системы взрыва, к-рый распространяется затем на всю систему. Наиболее интенсивно выделяют тепло тонкоизмельченные материалы с большой удельной поверхностью. Если газовзвеси горят в неограниченном пространстве, то процесс протекает, как правило, без повышения давления; если же они горят в замкнутом объеме, то повышение давления может быть значительным. Хим. превращения горючих материалов происходят в результате взаимодействия с окислителем газовой среды, что отличает их от взрывчатых веществ, хим. превращения к-рых обуславливаются наличием содержащегося в них кислорода. Последовательное *воспламенение* горючей смеси происходит в

Зависимость давления взрыва газовзвесей порошков металлов от концентрации частиц в воздухе: 1 — алюминий; 2 — магний; 3 — титан; 4 — железо.



результате теплопередачи, поэтому фронт горения распространяется относительно медленно. Взрываемость газозвеси характеризуется ее нижним концентрационным пределом, т-рой самовоспламенения, т-рой зажигания, миним. энергией воспламенения, макс. давлением взрыва, скоростью нарастания давления и предельным объемным содержанием кислорода в инертном газе (табл.). Характеристики взрываемости газозвеси определяются не только хим. составом материала, но и условиями опыта. Увеличение концентрации частиц в газозвеси выше уровня нижнего концентрационного предела взрываемости повышает давление взрыва до макс. величины, после чего оно понижается (рис.). Уменьшение размеров частиц в газозвеси приводит к понижению т-ры самовоспламенения, энергии воспламе-

ния и нижнего концентрационного предела взрываемости. Взрываемость газозвеси возрастает с уменьшением степени окисленности частиц. Давление и скорость нарастания взрыва возрастают пропорционально начальному давлению газа в системе. Характеристики взрываемости чаще всего определяют лабораторными методами во взрывных камерах с распылением навески материала сжатым газом, зажиганием газозвеси и регистрацией параметров. Методика более совершенна при наличии аппаратуры для подготовки газозвесей, равномерного распределения и контроля концентрации во взрывной камере, для проведения взрыва с регулируемым режимом и автоматической регистрации результатов испытаний. В процессе производства на некоторых предприятиях образуются газозвеси со значительным содержанием твердых компонентов. При определенном соотношении и физико-хим.

Характеристики взрываемости газозвесей порошков металлов, сплавов и соединений на их основе

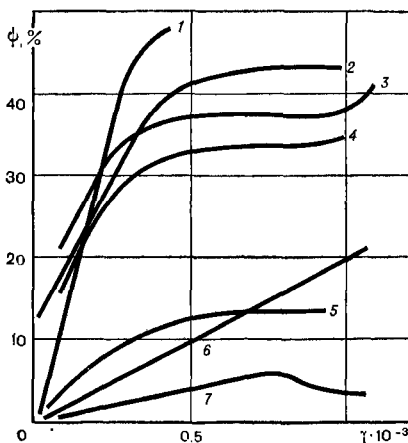
Материал	Размер частиц, мкм	Температура самовоспламенения, °С	Минимальная энергия воспламенения, мДж	Нижний концентрационный предел взрываемости, г/м³	Максимальное давление взрыва, кгс/см²	Скорость нарастания давления, кгс/см² · сек		Предельное объемное взрывобезопасное содержание кислорода в азоте, %
						максимальная	средняя	
Алюминиевая пудра ПАП-2	<20	540	0,047	45	7,8	197	127	6,5
Алюминиевомагнетитовый сплав	<70	380	0,047	30	5	200	120	2,0
Алюминий сферический АСД	<50	780	0,047	50	6,5	83	68	6
Борид магния	<50	520	—	70	5,2	51	29	—
Гидрид титана	<100	480	—	101	4,5	50	25	5,0
Дикарбид церия	<50	20	—	—	3,2	50	30	1,0
Железо восстановленное	<50	300	80	66	2,45	50	50	9,3
Кремний	<74	770	21	100	5,75	83	83	11
Магний сферический	<300	660	0,025	20	6	12	7	0 в аргоне
Магний фрезерованный	<50	520	10,0	15	5,2	—	—	0 в аргоне
Нитрид циркония	<280	540	—	700	3,5	29	21	—
Сера	<850	575	—	2,3	2,7	—	—	2,0
Титан кальцийтермический	<40	520	—	13	3,9	11,8	5,9	3,5
Титан электролитический	<50	320	—	25	4,9	11,8	7,8	2,0
Цирконий	<44	20	5	40	4,4	44	44	в аргоне

состоянии компонентов они взрывоопасны. Взрыв обычно возникает как местная вспышка (под воздействием нагретой поверхности, открытого пламени, искры и т. п.), распространяющаяся затем на весь объем. Для предупреждения взрывов уменьшают пылеобразование, создают эффективную вентиляцию, устраняют источники воспламенения, используют спец. электроаппаратуру, внедряют снижающие взрывоопасность технологические режимы.

Лит.: Пожарная опасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности. Справочник. М., 1970; Негдин В. В. [и др.]. Взрывоопасность металлических порошков. К., 1971; Злобинский Б. М., Иоффе В. Г., Злобинский В. Б. Воспламеняемость и токсичность металлов и сплавов. М., 1972; Предупреждение внезапных воспламенений порошков и взрывов газодисперсных систем. К., 1975. В. В. Негдин.

ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы с повышенной *демпфирующей способностью*.

Амплитудная зависимость демпфирующей способности металлических виброизолирующих материалов: 1 — магниеводитро-ниевый сплав (0,4% Zr, остальное — магний) в литом состоянии; 2 — марганцовомедный сплав (75% Mn, 25% Cu) после закалки с т-ры 840° С в воде и старения при т-ре 400° С; 3 — алюминированная бронза (14,5% Al, 3,4% Ni, остальное — медь) после закалки с т-ры 840° С в воде; 4 — никельтитановый сплав — нитиноль (45,5% Ti, остальное — никель) после закалки с т-ры 900° С в воде; 5 — серый чугуун марки СЧ24-44; 6 — сплав на основе никеля и кобальта (Нивко-10); 7 — сталь марки 1Х13 после закалки с т-ры 1000° С в воде и отпуска при т-ре 680° С.



Отличаются циклической и динамической прочностью, хорошей податливостью и необходимыми упругими св-вами, сохраняют осн. физико-механические характеристики в течение всего времени эксплуатации. Различают В. м. металлические и неметаллические. К м е т а л л и ч е с к и м В. м. (табл., рис.) относятся высокопрочные марганцовомедные сплавы и сплавы на основе никеля и кобальта (Нивко-10); никель-

Свойства металлических виброизолирующих материалов

Материал	$\phi_{\text{макс}}, \%$	$\sigma_{\text{в}}, \text{кгс/см}^2$	$\sigma_{\text{т}}, \text{кгс/см}^2$
Марганцовомедные сплавы	40	6200—6600	4200
Никельтитановые сплавы (нитиноли)	38	8700	2880
Магниеводитро-ниевые сплавы: в литом состоянии	21	181	70
в деформированном состоянии (при содержании 1% Zr)	16,2	292	258
Магния сплавы	12,8	1600	180
Сплав на основе никеля и кобальта (Нивко-10)	12	11 200	7700
Сталь марки 1Х13	10	7000	5600
Алюминия сплавы	8,7	2300	265

титановые сплавы (нитиноли) с большой коррозионной стойкостью, особенно в морской воде, повышенной мех. прочностью, значительной пластичностью и удовлетворительной твердостью; магниеводитро-ниевые сплавы в литом и деформированном состоянии; нек-рые магния сплавы, способные воспринимать большие ударные нагрузки; хромистые стали марок 1Х13, 2Х13, 15Х11МФ и 1Х12В4МФ; сплавы с резко выраженной гетерогенной структурой (напр., свинцовистые бронзы, нек-рые алюминия сплавы) и т. д. Металлические В. м. используют для изоляции изделий, подвергающихся вибрационному воздей-

ствию (напр., лопаток, дисков и роторов турбомашин, деталей редукторов, валов и осей транспортных средств), а также для изготовления амортизаторов, прокладок, виброизолирующих перекрытий и др. Неметаллические В. м. характеризуются большим *внутренним трением*. К ним относятся *асбест*, *графит*, резиновые смеси и др. Наиболее распространены В. м. являющиеся резиновыми смесями, в состав к-рых входят мягчители (стеарин, олеиновая к-та и др.), *наполнители* (сажа, окись цинка, мел, каолин), вулканизирующие агенты (сера) и т. д. Такие материалы применяют в качестве виброизолирующих ковриков и прокладок, при упаковке транспортируемых изделий и т. д.

Лит.: Найденко О. К., Петров Л. П. Амортизация судовых двигателей и механизмов. Л., 1962; Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник. К., 1971; Фавстов Ф. К., Шульга Ю. Н. Сплавы с высокими демпфирующими свойствами. М., 1973. К. В. Фролов.

ВИВИАНИТ [по имени англ. минералога Дж. Г. Вивиана (J. G. Vivian)], $\text{Fe}_3^{2+}[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ — минерал класса *фосфатов*. В природе часто изменен. Продукты его окисления и разложения: альфа-керченит, бета-керченит и оксикерченит. Структура слоистая, сингония моноклинная, вид симметрии призматический. Образует кристаллы шестоватого, пластинчатого и игольчатого облика, друзы, лучистые, почковидные и шаровидные агрегаты, землистые массы. Спайность (см. *Спайность минералов*) весьма совершенная по (010). *Плотность* 2,68 г/см³. *Твердость* 1,5—2. Хрупкий. Цвет (см. *Цвет минералов*) у неизмененных разновидностей белый, слабо синеватый. При окислении становится серовато-синим, синевато-зеленым, синим. Черта белая, у окисленных разновидностей голубовато-белая, синяя, бурая. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Излом (см. *Излом минералов*) неровный. Неизмененный В. прозрачен. *Плеохро-*

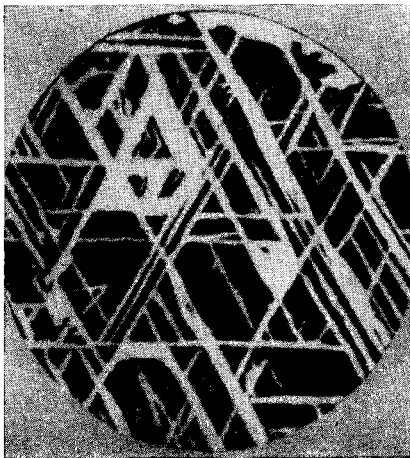
изм у окрашенных разновидностей сильный: по $N_g - N_m$ — бледный зеленовато-желтый, по N_p — ярко-синий. Двухосный, положительный; $2V = 81-90^\circ$, с $N_g = 28^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,633$; $n_m = 1,603$; $n_p = 1,579$; $n_g - n_p = 0,054$. В. — экзогенный минерал, образующийся в торфяниках, среди бурых железняков озерного или морского происхождения (в условиях восстановительной среды), в рудных жилах при выветривании сульфидов железа, в пустотах и трещинах ископаемых костей и раковин. Получают В. нагреванием осажденного фосфата закисного железа в растворе фосфата натрия и реакцией между раствором фосфата закисного железа и аммония с фтористоводородной к-той. Используют для изготовления синей краски, в качестве фосфорного удобрения (в смеси с торфом).

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971.

В. Т. Латыш.

ВИДМАНШТЕТТОВА СТРУКТУРА [по имени австр. исследователя А. Видманштеттена (A. Widmannstätten)] — структура сплавов, характеризующаяся кристаллографически ориентированным расположением избыточной фазы по отношению к матричной. Впервые наблюдалась в железоникелевых метеори-

Видманштеттова структура.



талях. В углеродистых сталях обнаружена русским металловедом Н. Т. Беляевым. В них легко выявляется методами макроструктурного анализа. Образуется при ускоренном охлаждении литой или сильно перегретой стали с крупным аустенитным зерном (см. *Аустенит*). Во время охлаждения первичные продукты распада аустенита распространяются вдоль преимущественных кристаллографических плоскостей, что обуславливается кристаллогеометрическим соответствием между этими продуктами и матричным зерном. Кристаллогеометрическое соответствие зависит гл. обр. от химической однородности исходного аустенита, размера зерна, определяемого т-рой нагрева, фазового состава продуктов распада, условий охлаждения и др. Вследствие этого крупное аустенитное зерно способствует появлению В. с. Однако В. с., образование к-рой зависит от содержания углерода и скорости охлаждения, не является непременной характеристикой крупнозернистой стали. Если зерно нормальной величины, В. с. возникает при высоких скоростях охлаждения только в сталях с 0,2—0,3% С. В доэвтектоидных сталях В. с. формируется из выделившегося по границам зерен и внутри их структурно свободного феррита (в виде пластин и игл), в заэвтектоидных сталях — вследствие выпадения вторичного цемента. Иногда она имеет вид правильных геометрических фигур: квадратов, треугольников и др. (рис.). Анализ условий возникновения В. с. позволяет изучать механизм фазовых превращений, использовать его при обработке сплавов. Стали с купнозернистой В. с. отличаются низкой ударной вязкостью и повышенной хрупкостью, к-рые в значительной степени устраняют фазовой перекристаллизацией.

Лит.: Свечников В. Н., Щепак М. И. Вторичная кристаллизация в стали в связи с условиями возникновения видманштеттовой структуры. «Домез», 1934, № 9; Кащенко Г. А. Основы металловедения. М.—Л., 1959.

В. Н. Свечников

ВИКАЛЛОЙ [от *в(анадий)*, англ. *i(ron)* — железо, *к(обальт)* и англ. *alloy* — сплав] — магнитно-твердые сплавы системы железо — ко-

бальт — ванадий. Разработаны в США в начале 40-х гг. 20 в. В СССР выпускают сплавы В. с повышенным (52%) и модификации В. с пониженным (35%) содержанием кобальта (табл. 1). Сплавы отличаются высокими гистерезисными свойствами (см. *Магнитно-твердые материалы*). Плотность их 8,0—8,2 г/см³, температурный коэфф. линейного расширения (11—13) 10⁻⁶ град⁻¹ (в интервале т-р 20—300° С после деформирования и отпуска), удельное электрическое сопротивление 0,6 ом · мм²/м (после отпуска), предел прочности на растяжение (в зависимости от степени холодной деформации) 90—140 кгс/мм², предел прочности на растяжение после отпуска 120—200 кгс/мм². Наиболее распространены В. с повышенным содержанием кобальта. Их подразделяют на сплавы В. I (до 10% V) и сплавы В. II (более 10% V). Сплавы В. I приобретают магн. свойства в результате охлаждения от т-ры 800—1300° С (скорость не критична) и отпуска при т-ре около 600° С (см. *Дисперсионное твердение*) или в результате холодного деформирования и отпуска; сплавы В. II — только в результате холодного деформирования со степенью обжатия более 90% и отпуска (табл. 2). Их свойства резко зависят от т-ры отпуска. Магнитное твердение сплавов обуславливается альфа ⇌ гамма или гамма ⇌ альфа-превращениями, вследствие которых высокодисперсные однодоменные частицы (см. *Доменная структура*) оказываются в окружении немагнитной фазы. Увеличение содержания ванадия, не изменяя макс. магн. энергию, способствует уменьшению остаточной магн. индукции и повышению коэрцитивной силы сплавов. Замена части ванадия хромом повышает их пластичность. Сплавы В. выплавляют в открытых индукционных печах и изготавливают гл. обр. в виде проволоки диаметром 0,5—3 мм, лент и листов толщиной 0,2—1,3 мм. Наиболее высокие магнитные свойства — вдоль направления деформирования. У проволоки они выше, чем у листовых материалов из тех

же сплавов. Если необходимо, анизотропность (см. *Анизотропия*) листов снижают продольно-поперечной прокаткой. Из-за большой магнито-стрикции упругие растягивающие напряжения в сплавах В. II обуславливают рост (в 2,5—3 раза) коэрцитивной силы и макс. магн. энергии, но после снятия нагрузки магн. свойства восстанавливаются. Их улучшают *термомеханической обработкой*. Коэрцитивная сила сплавов В. остается неизменной в интервале $t-p - 200 \div +200^\circ C$, а остаточная магн. индукция из-за высокой *Кюри точки* ($860^\circ C$) уменьшается при нагреве незначительно. До отпуска *твердость* сплавов В. составляет 32—37 *HRC*, они поддаются обработке резанием и холодным штампованием (высечкой). После отпуска из-за высокой твердости (58—62 *HRC*) возможны лишь резание абразивным камнем или

спец. способами, напр. электроэрозионным, и шлифование. Сплавы с повышенным содержанием кобальта применяют гл. обр. в активной части гистерезисных электродвигателей с широким диапазоном рабочих полей и для изготовления небольших постоянных магнитов с макс. магн. энергией $(1 \div 3) \times 10^6 \text{ эс} \cdot \text{э}$. Сплавы с пониженным содержанием кобальта по сравнению со сплавами типа 52КФ более технологичны (см. *Технологичность*), отличаются более высокими гистерезисными св-вами в диапазоне рабочих полей 20—60 э и имеют аналогичные св-ва в диапазоне полей 70—120 э. Их св-ва меньше зависят от $t-p$ ы отпуска, чем св-ва сплавов с повышенным содержанием кобальта. Сплавы с пониженным содержанием кобальта используют в конструкциях, где требуется сочетание определенных магнитных, прочностных и упругих св-в. Сплав марки 35КХФ8 используют также в системе фокусирования луча цветных телевизоров.

Таблица 1. Химический состав викаллоев

Марка сплава	Содержание элементов, %				
	Fe	Co	V	Cr	Ni
52К5Ф	Основа	52—54	3,8—5,0	—	—
52К9Ф	»	52—54	7,8—9,0	$\leq 0,5$	—
52К11Ф	»	52—54	10,0—11,5	$\leq 0,5$	$\leq 0,7$
52К12Ф	»	52—54	11,6—12,5	$\leq 0,5$	$\leq 0,7$
52К13Ф	»	52—54	12,6—13,5	$\leq 0,5$	$\leq 0,7$
52КФТМ	»	52—54	11,7—13,0	$\leq 0,5$	$\leq 0,7$
35КХФ6	»	34,3—35,3	5,5—6,5	7,5—8,5	—
35КХФ8	»	34,3—35,8	7,5—8,5	7,5—8,5	—
35КФН10	»	34,3—35,8	3,5—4,5	—	9,5—10,5

Примечание: ТМ — термомеханическая обработка сплава.

Таблица 2. Свойства викаллоев

Марка сплава	H_c , э	B_r , эс	Марка сплава	H_c , э	B_r , эс
52К5Ф	—	—	52К12Ф	350	8500
	50	14 000		300	7500
52К9Ф	120	11 500	52К13Ф	500	6000
	120	11 500		300	6000
52К11Ф	300	10 000	52КФТМ	400	9000
	220	10 000		—	—

Примечания: 1. В числителе приведены значения для проволоки, в знаменателе — для ленты или листов. 2. Магнитные свойства сплавов с пониженным содержанием кобальта не нормируются.

Хим. состав и магн. св-ва В. регламентируют ГОСТ 10994—74, ТУ 14—1—803—73, ТУ 14—1—826—74 и др. Лит.: Постоянные магниты. Справочник. М., 1971; Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Бозорт Р. М. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956; Хек К. Магнитные материалы и их техническое применение. Пер. с нем. М., 1973.

Н. Н. Потапов.

ВИЛЛЕЙТ [по имени короля Нидерландов Вильгельма I (Виллема, Willem)], $\text{Zn}_2[\text{SiO}_4]$ — минерал класса *силикатов*. Разность, содержащая марганец, наз. *трооститом*. Хим. состав (%): ZnO — 73,0; SiO_2 — 27,0. Примеси: железо, кальций, магний, бериллий. Структура островная, сингония тригональная, вид симметрии ромбоэдрический. Кристаллы очень редки; мелкие, обычно образованы гранями призмы и ромбоэдра. Чаше встречается в виде сплошных и зернистых масс, лучистых и натечных агрегатов. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (1120) и несовершенная по (0001). Плотность 3,89—4,18 г/см³. Твердость 5—6. Бесцветный, белый, желтый, желтобуро-бурый, зеленоватый, красноватый (см. *Цвет минералов*). Черта белая. Блеск (см. *Блеск минералов*) жирный до стеклянного. Окрашенные марганецсодержащие разности люминесцируют в ультрафиолетовых и катодных лучах ярко-зеленым или желтым цветом. Излом (см. *Излом минералов*) раковистый до неровного. В шлифах обычно бесцветен. Окрашенные разности плеохроируют: по N_e — синева-фиолетовый, по N_0 — красновато-фиолетовый. Одноосный, оптически положительный. Показатели преломления: $n_e = 1,719$ —1,723; $n_0 = 1,691$ —1,694. Порошок минерала растворяется в соляной к-те. В. встречается в контактово-метасоматических образованиях, гидротермальных рудах и зоне окисления месторождений свинца и цинка. Получен при пропускании паров SiCl_4 над ZnO ; в результате взаимодействия SiF_4 с ZnO и SiO_2 с ZnF_2 ; сплавлением SiO_2 , Na_2SO_4 и ZnSO_4 ; нагреванием SiO_2 , NaCl и ZnCl_2 в среде водяного пара при т-ре 500—1250°C; из раствора ацетата цинка, нагретого до кипения при медленном добавлении к нему слабого раствора сили-

ката натрия и соды при pH = 7,0—8,5; при кристаллизации в системе Na_2CO_3 — ZnO — SiO_2 — H_2O и др. способами. Применяют для изготовления флюоресцирующих экранов в электроннолучевых трубках и др. приборах. В качестве *люминофоров* используется также искусственный В., активированный марганцем. При значительных концентрациях может использоваться для получения металлического цинка.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Минералы. Справочник, т. 3, в. 1. М., 1972.

В. Т. Латыш.

ВИСМУТ (Bismuthum), Bi — хим. элемент V группы *периодической системы элементов*; ат. н. 83, ат. м. 208,9804. Серебристо-белый блестящий металл с розовым оттенком. В соединениях проявляет степени окисления —3, +1, +2, +3, +4 и +5. Основная степень +3. Природный В. состоит из изотопа ^{209}Bi . Из радиоактивных изотопов важнейший ^{210}Bi . Установлено свыше 20 искусственных изотопов В. с массовыми числами от 190 до 215. В. был известен в 15—16 вв., но считался разновидностью олова, свинца или сурьмы. В 1739 нем. химик И. Потт установил, что В. представляет собой самостоятельный элемент. Содержание В. в земной коре $2 \cdot 10^{-5}\%$. Встречается в виде многочисленных минералов. Пром. значение имеют: В. самородный, висмутин, бисмйт, бисмутит, тетрадимит и козалит. Кристаллическая решетка В. ромбоэдрическая с периодом $a = 4,7457 \text{ \AA}$ и углом $\alpha = 57^\circ 14' 13''$. Плотность (т-ра 20° С) 9,80, жидкого (т-ра 271,3° С) 10,07 г/см³; $t_{\text{пл}}$ 271,3° С; $t_{\text{кип}}$ 1560° С. Температурный коэфф. линейного расширения $13,3 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, объемное расширение металла при затвердевании —3,32% (т-ра 271,3° С), коэфф. теплопроводности 0,020 (т-ра 20° С), 0,018 (250° С), 0,037 (400° С), 0,037 кал/см · сек × град (т-ра 700° С); удельная теплоемкость 0,0294 (т-ра 20° С), 0,034 (в жидком состоянии при т-ре

271,3° С), 0,0354 (400° С), 0,0397 *кал/г · град* (т-ра 800° С); удельное электрическое сопротивление $1,068 \times 10^{-4}$ (т-ра 0—20° С), $1,602 \times 10^{-4}$ (т-ра 100° С), $1,289 \cdot 10^{-4}$ (т-ра 300° С), $1,452 \cdot 10^{-4}$ (т-ра 600° С), $1,535 \cdot 10^{-4}$ *ом · см* (т-ра 750° С). Т-ра перехода в сверхпроводящее состояние ~ 7 К. Под влиянием магн. поля электросопротивление В. увеличивается в большей степени, чем у др. металлов, что используется для измерения индукции сильных магн. полей. Предел прочности на растяжение 0,5—2 *кгс/мм²*, модуль упругости 3200 *кгс/мм²*, модуль сдвига 1260 *кгс/мм²*, твердость по Бринеллю 9,3, по Моосу 2,5. В интервале т-р 150—250° С сравнительно легко поддается прессованию. Висмут — диамагнитный металл; магнитная восприимчивость $1,35 \cdot 10^{-6}$. При плавлении В. восприимчивость уменьшается в 12,5 раза. Поперечное сечение захвата тепловых нейтронов у В. невелико — 0,034 *барна*. При обычных т-рах В. устойчив в сухом и влажном воздухе. При нагревании выше т-ры 1000° С сгорает голубым пламенем с образованием окиси Bi_2O_3 , к-рую применяют для получения висмутовых солей. В разбавленных растворах соли трехвалентного В. легко гидролизуются. Соли пятивалентного В. — сильные окислители. В. реагирует при нагревании с парами фосфора, легко соединяется с галогенами и халькогенами. Со мн. металлами (натрием, калием, рубидием, цезием, магнием, кальцием и др.) образует тугоплавкие интерметаллические соединения — *висмутиды*. С легкоплавкими тяжелыми металлами (свинцом, оловом, кадмием, индием, ртутью) образует сплавы с $t_{\text{пл}}$ от 33 до 156° С. Растворяется в азотной к-те, «царской водке», горячей концентрированной серной к-те, слабо растворим в соляной к-те. В разбавленной серной и соляной к-тах не растворяется. Растворы щелочей без доступа кислорода хим. на В. не действуют. Висмутовые руды почти всегда со-

держат примеси др. минералов, до металлургической обработки обычно подвергаются обогащению мокрым и флотационным методами, часто применяют магнитную сепарацию. В зависимости от состава руд и концентратов В. извлекают пиро- или гидрометаллургическими способами, а также комплексными методами. В мировой практике около 90% всего добываемого В. получают из отходов свинцоворафинировочных и медеплавильных заводов. Полученный черновой В. подвергают рафинированию огневым и мокрым способами, электролизом из растворов или из расплавов солей. В. высокой чистоты получают гидрометаллургическим рафинированием, кристаллофизическими методами, двухстадийной перегонкой, методом дистилляции с предварительной хим. очисткой. В. плавят без *флюсов* при т-ре 300—400° С. Поскольку при обычных т-рах В. хрупок, его отливкам сразу придают нужную форму. При т-ре $\sim 225^\circ \text{С}$ становится более пластичным, его можно штамповать, а также протягивать, получая проволоку диаметром 0,254 *мм*. Металлический В. поставляют следующих квалификаций: В. особой чистоты (марок ВuОСЧ 10-3, ВuОСЧ 10-4, ВuОСЧ 11-4), выпускаемый в слитках массой до 1 *кг* (поверхность металла должна быть гладкой и блестящей); В. технической чистоты (марок Вu00, Вu0, Вu1, Вu2); к-рый выпускают в слитках массой по 14—16 *кг* в виде усеченной пирамиды или в гранулах размером в поперечнике до 5 *мм*. В. — наименее токсичен среди тяжелых металлов, но при вдыхании больших доз может вызвать смертельное отравление. Осн. потребители В. — металлургическая, фармацевтическая, химическая и стекольная промышленности, ядерная и ракетная техника, электроника. Легкоплавкие сплавы на основе В. используют для сигнальных устройств (в частности, в автоматических огнетушителях), в различных *приборах*, при зубопротезировании и пр. Мощные пост. магниты делают из сплава марганец — висмут. Из сплава состава 88% Вi и 12% Sb изготавливают быстродействующие усилители и

выключаются. Добавка В. (~ 0,01%) в сплавы на основе алюминия и железа улучшает пластичность материала и упрощает его обработку. Жидкий В. — *теплоноситель* в ядерных реакторах. В. применяется как примесь донорного типа для выращивания *монокристаллов* германия. Из соединений В. широко используется трехокись Bi_2O_3 — в фармацевтической пром-сти, в производстве *эмалей, фарфора, хрусталя, стекла*.

Все большее применение находят соединения В. в полупроводниковой технике (AgBiS_2), в фотоэлементах (BiAgCs). Увеличивается потребление В. в соединениях с селеном и теллуром для произ-ва охлаждающих устройств, термостатов и термоэлектрогенераторов. Эти соединения из-за благоприятного сочетания теплопроводности, электропроводности и термоэдс позволяют преобразовывать тепловую энергию непосредственно в электрическую (кпд прямого преобразования на основе теллурида В. достигает 10—11%).

Лит.: Основы металлургии, т. 5. М., 1968; Глазков Е. Н. Висмут. Ташкент 1969; Глембоцкий В. А., Соколов В. С., Соложенкин П. М. Обогащение висмутсодержащих руд. Душанбе, 1972; Гольцман Б. М., Кудинов В. А., Смирнов И. А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 . М., 1972; Сурьма — висмут. М., 1973; Полювинский И. Р. [и др.]. Металлургия висмута. Алма-Ата, 1973; Цветные металлы. Свойства. Сортамент. Применение. М., 1973. О. Н. Мустаха.

ВИСМУТИДЫ — соединения *висмута* с более электроположительными элементами. Изучение В. начали в 1892 англ. исследователи С. Т. Хейкок и Ф. Н. Невиль. По характеру хим. связи и физико-хим. св-вам различают: В. щелочных и щелочноземельных металлов (преим. с ионноковалентным типом связи); В. переходных металлов, в т. ч. лантаноидов и *актиноидов* (преим. с металлоковалентным типом связи); В. золота, индия, таллия и свинца (преим. с металлическим типом связи). В. встречаются в виде минералов: мальдонита Au_3Bi , майценерита PdBi_2 , фрудита PdBi_2 . Кристаллизуются гл. обр. в структуре типов NaCl , NiAs , CuAu , InBi , Na_3As и $\alpha\text{-La}_2\text{O}_3$. В. — твердые вещества, нерастворимые в органических рас-

творителях. Хорошо растворяются в азотной и соляной к-тах, а также в расплавленных щелоках и хлоридах. Многие В. характеризуются наличием областей гомогенности. Большинство В. щелочных и щелочноземельных металлов плавятся без разложения, причем т-ры плавления групп В., аналогичных между собой, закономерно изменяются (напр., т-ра плавления В. типа $\text{M}_3^{\text{I}}\text{Bi}$ понижается, а В. типа $\text{M}^{\text{I}}\text{Bi}_2$ повышается с увеличением атомного номера М). Многие В. (CaBi_3 , SrBi_3 , KBi_2 , NiBi , LiBi , PdBi и др.) при понижении т-ры переходят в сверхпроводящее состояние. Макс. критическая т-ра такого перехода у В. 7,25 К. Для некоторых В. (K_3Bi , Rb_3Bi , Mg_3Bi_2) характерны полупроводниковые св-ва. Получают В., как правило, сплавлением их компонентов. В. кальция и магния, образующиеся в процессе рафинирования черного свинца, используют для получения висмута. На основе В. марганца созданы постоянные магниты с большой *коэрцитивной силой* — спеканием порошков (23% Mn, 77% Bi) под давлением в сильном магнитном поле. Использование растворов *ядерного горючего* в жидком висмуте дает возможность непрерывно очищать раствор от В. радиоактивных элементов, образующихся в результате работы ядерного реактора. В. серебра и цезия CsAgBi применяют как фотокатоды в фотоумножителях. Как *полупроводниковые материалы* большое практическое значение имеют соединения висмута с селеном и теллуром (см. *Селениды, Теллуриды*).

Лит.: Основы металлургии, т. 5. М., 1968; Черногоренко В. Б. Современное состояние и некоторые перспективы исследований в области химии висмутидов. В кн.: Металловедение. М., 1971; Полювинский И. Р. [и др.]. Металлургия висмута. Алма-Ата, 1973; Самсонов Г. В., Абдусаламова М. Н., Черногоренко В. Б. Висмутиды. К., 1977. В. Б. Черногоренко.

ВИТЕРИТ [по имени англ. физика и минералога У. Витеринга (W. Withering)], Ва $[\text{CO}_3]$ — минерал класса *карбонатов*. Хим. состав (%): ВаО — 77,7; CO_2 — 22,3.

Иногда содержит примеси кальция и стронция. Структура островная, сингония ромбическая, вид симметрии ромбодипирамидальный. Габитус кристаллов дипирамидальный, короткопризматический или таблитчатый. Части тройники прорастания по (110). Обычно образует зернистые, плотные, шаровидные, почковидные, лучистые, жилковатые, волокистые и листовые агрегаты. Спайность (см. *Спайность минералов*) средняя по (010), несовершенная по (110) и (012). Плотность 4,2—4,3 г/см³. Твердость 3—3,5. Хрупкий. Цвет (см. *Цвет минералов*) белый, желтоватый, сероватый. Черта бесцветная или белая. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный, в изломе жирный. Излом (см. *Излом минералов*) неровный. Прозрачный до непрозрачного. Под микроскопом в шлифах бесцветный. Двухосный, отрицательный; $2V = 16^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,677$; $n_m = 1,676$; $n_p = 1,529$; $n_g - n_p = 0,148$. В катодных лучах иногда люминесцирует желтым цветом. Диссоциирует при t -ре 800°C и плавится при t -ре 1740°C . Растворяется в разбавленных азотной и соляной к-тах. Витеритовая пыль ядовита. Минерал сравнительно редкий. Встречается в гидротермальных месторождениях вместе с баритом, кальцитом, сульфидами свинца, цинка и железа. Иногда его образование носит экзогенный характер и является результатом изменения барита. Получен взаимодействием BaO или Ba(OH)₂ с углекислым газом во влажном воздухе; осаждением карбоната BaCO₃ из бариевых солей углекислым газом или углекислыми щелочами; сплавлением барита BaSO₄ с поташом K₂CO₃; плавкой осажденного BaCO₃ в хлористом калии или натрии. Применяется для приготовления различных бариевых препаратов, для получения белой акварельной краски, как составная часть глазури для фарфора и фаянса.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Г. К. Курс минералогии. М., 1971.

В. Т. Латыш.

ВЛАГОУСТОЙЧИВОСТЬ — свойство материала отдавать влагу окружающей среде. Зависит от условий среды (понижения влажности, нагрева или движения воздуха и др.), а также от величины частиц материала: с уменьшением крупности частиц способность отдавать влагу снижается тем резче, чем меньше частицы. В. характеризуется скоростью выделения влаги, т. е. количеством воды, теряемым стандартным образом в течение суток при относительной влажности воздуха 60% и температуре 20°C , и выражается в процентах от массы образца. В естественных условиях В. происходит в течение продолжительного времени с постепенным уменьшением количества выделяемой влаги и установлением равновесия между влажностью материала и воздуха. Это состояние равновесия наз. воздушно-сухим состоянием. Для определения В. образцы материала помещают в сушильный шкаф с постоянной температурой, а затем периодически или непрерывно взвешивают их. В. — важная характеристика некоторых строительных материалов и изделий, напр. стеновых панелей и блоков, штукатурки стен.

Лит.: Справочник по производству строительной керамики, т. 1. М., 1961; Воробьев В. А., Комар А. Г. Строительные материалы. М., 1973.

Н. Ю. Прянишникова.

ВЛАГОСТОЙКОСТЬ — свойство материала длительно сопротивляться разрушающему действию влаги при попеременном увлажнении и высыхании. Количественно В. оценивают отношением предела прочности образца материала, подвергнутого увлажнению и высыханию, к первоначальной его прочности. У влагоустойчивых материалов это отношение равно $0,8 \div 1,0$, у невлагоустойчивых — $0,65$ и меньше. В. понижается вследствие поглощения внутренними и внешними слоями материала различного количества влаги, что приводит к его разбуханию, возникновению в нем внутренних напряжений. Кроме того, понижение В. обуславливается вымыванием растворимых соединений (высаливанием), что уменьшает силы сцепления частиц и нарушает монолитность материала. В. возрастает по мере уменьшения открытой пористости и гидрофиль-

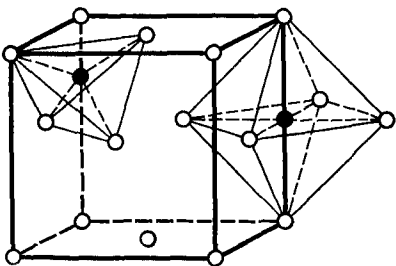
ности материала. Гидрофильность твердых поверхностей снижают, используя адсорбцию поверхностно-активных веществ (напр., углеводородов) под влиянием ориентированных адсорбционных слоев, их молекул или ионов. Такой метод снижения гидрофильности (гидрофобизация) приводит к уменьшению смачиваемости поверхности материала водой, уменьшению водопоглощения и тем самым к увеличению влагостойкости. В. повышают также нанесением стойких гидрофобных покрытий (см. *Гидрофобность*), увеличением плотности материала. В.— важная характеристика строительных материалов (напр., *гидротехнического бетона*), используемых для возведения сооружений, подвергающихся часто увлажнению и высыханию. Из гидрофильных строительных материалов наибольшая В. у плотноспеченных керамических материалов, не содержащих растворимых солей, у глазурованных пористых керамических материалов и природных камней с плотной структурой. Природные и искусственные гидрофобные материалы, почти не пропускающие влагу, используются в качестве гидроизоляционных материалов. Малой В. отличаются грунтоблоки, легкие бетоны, строительные материалы на основе извести, гипса и др. воздушных вяжущих материалов.

Лит.: Ильинский В. М. Проектирование ограждающих конструкций зданий (с учетом физико-климатических воздействий). М., 1964. Л. Б. Романовский.

ВНЕДРЕНИЯ ФАЗЫ — фазы, представляющие собой хим. соединения переходных металлов с водородом

(гидриды), углеродом (карбиды), азотом (нитриды) и др. элементами, у которых атомы металла располагаются в узлах кристаллической решетки, а атомы неметалла внедряются в междоузлиях. В. ф. возникают, если отношение атомного радиуса неметалла (r_X) к атомному радиусу металла (r_M) меньше или равно 0,59. Получают такие фазы гл. обр. восстановлением оксидов металлов, осаждением из газовой фазы, электролизом расплавленных сред или синтезом металла и неметалла при соответствующей т-ре в среде восстановительного газа или в вакууме. Если отношение атомных радиусов меньше 0,41, неметаллические атомы располагаются в тетраэдрических, если это отношение больше 0,41, — в октаэдрических порах кристаллической решетки (рис.). Кристаллические решетки В. ф., как правило, отличаются от решеток металлов, из которых они образовались. Состав фаз обычно соответствует формулам M_4X , M_2X , MX и MX_2 , где М — атом металла; X — атом неметалла. Кристаллическая решетка фаз, описываемых формулой M_4X (напр., нитрида железа Fe_4N), — гранецентрированная кубическая с координационным числом K12.6, т. е. имеет 12 металлических и 6 неметаллических соседних атомов, у фаз M_2X (например, карбида вольфрама W_2C) — преимущественно гексагональная Г12.6, у фаз MX — кубическая гранецентрированная K12.6 (напр., карбида тантала TaC), кубическая объемноцентрированная K8.6 (напр., гидрида тантала TaH) или простая гексагональная Г8.6 (напр., нитрида молибдена MoN); у фаз MX_2 — преимущественно кубическая гранецентрированная K12.4 (напр., гидрида циркония ZrH). В. ф. отличаются переменным составом, часто — значительной областью гомогенности (областью существования хим. соединений с различной концентрацией неметаллических атомов, но одинаковой кристаллической решеткой). Они образуют между собой непрерывные ряды твердых растворов, если

Внедрения фазы: слева — атомы неметалла в тетраэдрических порах; справа — атомы неметалла в октаэдрических порах гранецентрированной кубической решетки.



их решетки однотипны (напр., NbC — TiC, NbC — TaC, TiC — VC, TiC — TiN). Природа и св-ва В. ф. обусловлены гетеродесмичным (смешанным) типом хим. связи, доля каждого из которых определяется электронным строением взаимодействующих атомов и особенностями кристаллического строения соединений. В. ф. характеризуются метал-

лит.: Уманский Я. С. [и др.]. Физические основы металлостроения. М., 1955; Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. 1. М., 1961; Самсонов Г. В. Тугоплавкие соединения. М., 1963; Бокштейн С. З. Строение и свойства металлических сплавов. М., 1971; Юм-Розери В. Рейнольдс Г. В. Структура металлов и сплавов. Пер. с англ. М., 1959; Физическое металлостроение, в. 1. Пер. с англ. М., 1967.

В. П. Кочешков.

ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ в твердых телах — свойство твердых тел необратимо превращать сообщаемую им энергию механических колебаний в тепловую. Мерами В. т. являются: логарифмический декремент колебаний Δ , т. е. натуральный логарифм отношения двух последующих макс. деформаций; тангенс угла сдвига фаз между напряжением и деформацией при упругих колебаниях ($\operatorname{tg} \delta$); относительное рассеяние упругой энергии $\Delta W/W$ за период колебаний; ширина резонансной кривой $\Delta\omega/\omega$, где $\Delta\omega$ — отклонение от резонансной частоты ω , при к-ром амплитуда вынужденных колебаний уменьшается в два раза. Соотношения между мерами В. т. выражаются ф-лами $\operatorname{tg} \delta = \Delta W/W = \Delta/\pi = \Delta\omega/\omega \sqrt{3}$. Затухание колебаний в металлах (сплавах), *стеклах* и др. неорганических материалах является результатом их неупругого поведения. В. т. может быть обусловлено различными и независимыми друг от друга физ. процессами, связанными с прохождением

Свойства внедрения фаз

Внедрения фазы	Отношение атомных радиусов $\frac{r_X}{r_M}$	Тип кристаллической решетки и координационное число	Возможная концентрация неметаллических атомов (область гомогенности), %	Температура плавления, К	Микротвердость, кгс/мм ²	Удельное электропроводное сопротивление, мком·см	Температура перехода в сверхпроводящее состояние, К
Zr ₄ H	0,29	K12.4	—	—	—	—	—
PdH	0,34	K12.4	39—45	—	—	—	—
ZrC	0,48	K12.6	21—50	3803	2925	50,0	<1,2
HfC	0,49	K12.6	36—50	4163	2913	45,0	<1,21
TaN	0,49	G12.6	44,5—47,3	3360	1060	128,0	1,88
VN	0,53	K12.6	41—50	2633	1520	85,0	7,5—8,2
TiC	0,54	K12.6	25—50	3420	3000	52,5	<1,2
VC	0,57	K12.6	43—50	3083	2094	65,0	<1,2

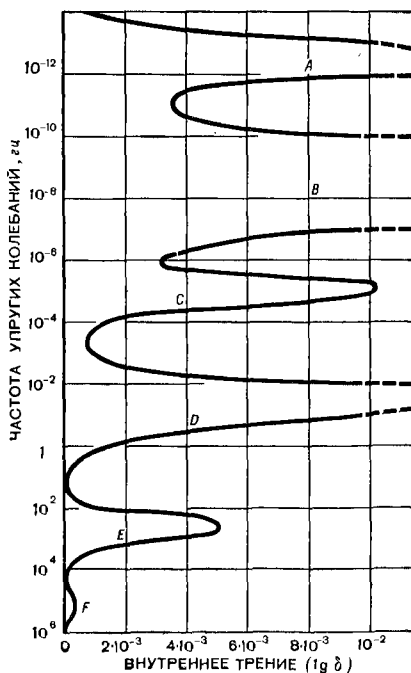
лическим блеском, высокой *электропроводностью* и ее зависимостью от т-ры, значительной электронной эмиссией, некоторые из них вблизи абсолютного нуля переходят в сверхпроводящее состояние, что подтверждает металлический тип межатомных связей. Однако высокие твердость и т-ра плавления (табл.), часто превышающие эти характеристики *чистых металлов*, характеризуют ковалентный тип связи. В. ф. (карбиды и нитриды) в сталях повышают прочность и твердость, способствуют упрочнению после соответствующей термической обработки. Карбиды используют также для изготовления твердых сплавов, в атомной энергетике и в производстве электроламп различного назначения.

Гидриды применяют в ядерных реакторах как замедлители и отражатели нейтронов, а также в качестве *геттеров*, *катализаторов*, источников водорода и восстановителей.

мую им энергию механических колебаний в тепловую. Мерами В. т. являются: логарифмический декремент колебаний Δ , т. е. натуральный логарифм отношения двух последующих макс. деформаций; тангенс угла сдвига фаз между напряжением и деформацией при упругих колебаниях ($\operatorname{tg} \delta$); относительное рассеяние упругой энергии $\Delta W/W$ за период колебаний; ширина резонансной кривой $\Delta\omega/\omega$, где $\Delta\omega$ — отклонение от резонансной частоты ω , при к-ром амплитуда вынужденных колебаний уменьшается в два раза. Соотношения между мерами В. т. выражаются ф-лами $\operatorname{tg} \delta = \Delta W/W = \Delta/\pi = \Delta\omega/\omega \sqrt{3}$. Затухание колебаний в металлах (сплавах), *стеклах* и др. неорганических материалах является результатом их неупругого поведения. В. т. может быть обусловлено различными и независимыми друг от друга физ. процессами, связанными с прохождением

дением упругих волн в твердых телах. Деформация же, возникающая при этом, определяется не только приложенными к материалу внешними мех. силами, но и т-рой, хим. составом материала, внешними магн. и электр. полями, величиной зерна и т. д. Все это приводит к многообразию релаксационных явлений (см. *Релаксация*). Если в материале происходит несколько релаксационных процессов, каждый из к-рых можно охарактеризовать временем релаксации τ_i , то совокупность всех времен релаксации образует т. н. релаксационный спектр (рис.). Каж-

Зависимость внутреннего трения в твердом теле при комнатной температуре от частоты упругих колебаний (релаксационный спектр): *A* — процессы, обусловленные анизотропным распределением пар растворенных атомов под действием внешних механических напряжений; *B* — процессы, протекающие в граничных слоях зерен поликристаллов; *C* — процессы, связанные с границами раздела двойников; *D* — процессы, обусловленные растворенными атомами в сплавах типа внедрения; *E* — процессы, обусловленные поперечными тепловыми потоками; *F* — процессы, обусловленные межкуристаллитными тепловыми потоками.



дое структурное изменение в образце материала находит характерное отражение в релаксационном спектре. Термоупругие потери наблюдаются, когда деформация, возникающая в результате быстрого приложения мех. напряжения к твердому телу, сопровождается изменением т-ры. Температурные градиенты возникают, если распределенные мех. напряжения в образце неоднородны. В результате образуется тепловой поток, повышается энтропия и рассеивается энергия, что и является причиной внутреннего трения. Термоупругое В. т. обычно невелико и, как правило, не проявляется на фоне внутреннего трения от других источников. В. т. монотонно возрастает с температурой, когда в исследованном интервале т-р нет релаксационных процессов. Наиболее изучено внутреннее трение, обусловленное дефектами кристаллического строения: точечными, линейными и поверхностями раздела (см. *Дефекты в кристаллах*). В твердых растворах внедрения в альфа-железе (см. *Железо*), содержащем углерод или азот, появляется релаксационный пик Сноэка, обусловленный диффузионным перемещением внедренных атомов в поле мех. напряжений, возникающих в процессе упругого деформирования образца. Высота пика Сноэка зависит от концентрации примесей в материале. Упорядочение под действием мех. напряжений наблюдается и в твердых растворах замещения, напр. в латуни (эффект Зинера). Это явление используется для измерения параметров диффузии при значительно более низких т-рах, чем это позволяет метод меченых атомов. Различают три вида дислокационного В. т.: резонансное дислокационное поглощение, когда частота упругих колебаний совпадает с собственной частотой колебаний свободного дислокационного сегмента (обычно $\sim 10^8$ $гц$); гистерезисное поглощение, наблюдающееся при таких амплитудах колебаний, когда колеблющиеся дислокационные отрезки отрываются от закрепляющих точечных

дефектов; релаксационные потери, связанные со скольжением перегибов на *дислокациях* (проявляющиеся обычно в виде пика Бордони в металлах). Изучение релаксационных явлений в кристаллах и изменения этих явлений с частотой и т-рой является методом исследования несовершенств кристаллического строения. Если источником В. т. служат поверхности раздела, то под действием приложенных мех. напряжений при определенных т-рах наблюдается скольжение по *границам зерен в поликристаллах*. На кривой В. т. появляется релаксационный пик, т-ра к-рого всегда соответствует области, в к-рой начинается скольжение по границам зерен. У *сегнетоэлектрических материалов* и *ферромагнитных материалов* наблюдается внутреннее трение, обусловленное необратимым смещением границ доменов при наложении мех. колебаний. Вклад во В. т. вносят и некогерентные границы поверхностей раздела, т. е. нарушения сплошности материала (*трещины, поры, усадочные раковины*). В. т. наблюдается при фазовых превращениях как первого рода (аллотропических превращениях, распаде пересыщенных твердых растворов и др.), так и второго (напр., магн. и сегнетоэлектр. превращениях). Появление пиков на кривых временной зависимости В. т. при фазовых превращениях вызывается нарушением условий фазового равновесия при прохождении упругой волны через смесь двух фаз. Из-за необратимости этого процесса рассеивается энергия, что ведет к росту В. т. при фазовых превращениях. Источником В. т. может быть рассеяние ультразвуковых волн на электронах проводимости, наблюдающееся в *чистых металлах* при низких т-рах (ниже 10 K). Изучение внутреннего трения, обусловленного электронами проводимости в магн. поле, позволяет получать сведения о поверхностях Ферми в металлах. Экспериментально исследуют частотную, амплитудную, ориентационную и температурную зависимость В. т., а также влияние примесей, облуче-

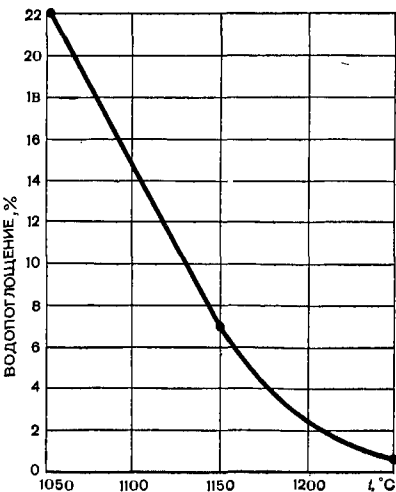
ния и величины пластической деформации. Так, релаксационное и резонансное В. т. зависит от частоты колебаний и не зависит от амплитуды деформации, а гистерезисное В. т. зависит от величины деформации и не зависит от частоты приложенных колебаний. В. т. измеряют методами крутильного маятника, резонансных колебаний и ультразвуковым импульсным. Если образец в форме стержня находится под действием продольных, поперечных или крутильных колебаний, деформация имеет неоднородный характер и измеренное значение В. т. является средневзвешенным из значений, соответствующих деформациям в различных частях образца. Метод крутильного маятника, к-рым исследуют проволоочные образцы, широко применяют при исследовании В. т. в инфразвуковом диапазоне. При измерении В. т. методом резонансных колебаний на частотах в несколько тысяч герц обычно используют поперечные колебания стержней на осн. резонансной частоте и гармониках. Продольные колебания стержней используют при измерении В. т. на частотах в десятки и сотни килогерц. Кроме того, на этих частотах В. т. измеряют методом составного вибратора. Ультразвуковым импульсным методом измеряют В. т. при небольших амплитудах деформации в широком диапазоне мегагерцовых частот. Применяя пьезокристаллы различных срезов, возбуждают как поперечные, так и продольные волны в одном и том же образце. Разработаны гиперзвуковые методы и исследовано В. т. на сверхвысоких частотах в различных кристаллах. Область амплитуд деформации определяется выбранным методом измерения В. т. и решаемыми задачами. Для различных технических целей нужны материалы с низким и высоким затуханием колебаний. Особый интерес представляют демпфирующие сплавы, отличающиеся при деформировании повышенным В. т. и упругим гистерезисом. Для получения сплавов с высоким В. т. исследуют влияние легирующих элементов и *термической обработки* на их *демпфирующую способность*. В. т. используют в качестве тонкого физ. метода исследова-

дования диффузии, структуры, фазовых превращений, демпфирующей способности и других важных явлений и характеристик различных неорганических материалов. См. также *Неупругость*.

Лит.: Финкельштейн Б. Н. Внутреннее трение металлов и сплавов. В кн.: Труды научно-технического совещания по изучению рассеяния энергии при колебаниях упругих тел. К., 1958; Криштал М. А., Пигузов Ю. В., Головин С. А. Внутреннее трение в металлах и сплавах. М., 1964; Полоцкий И. Г., Прокопенко Г. И. Затухание ультразвука в деформированных монокристаллах молибдена и ниобия в различных кристаллографических направлениях. «Акустический журнал», 1968, т. 14, в. 1; Постников В. С. Внутреннее трение в металлах. М., 1974; Норовик А. С. Внутреннее трение в металлах. В кн.: Успехи физики металлов, № 1. Пер. с англ. М., 1956; Физическая акустика, т. 3, ч. А; т. 4, ч. А; т. 7. Пер. с англ. М., 1969—1974; Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. Пер. с англ. М., 1972. И. Г. Полоцкий.

ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ — свойство материала впитывать и удерживать в себе воду. Зависит от *пористости*, способности к набуханию (см. *Набухаемость*) и *гидрофильности*. Характеризуется степенью заполнения пор материала водой. В. обычно меньше истинной пористости. При насыщении водой увеличивается объемная масса, *теплопроводность* (у некоторых материалов — и объем), понижается *прочность* материала.

Зависимость водопоглощения полуфарфоровой массы от температуры обжига.



В. по объему и по массе вычисляют с помощью формул

$$B_{об} = \frac{m_1 - m}{V} 100\% \quad \text{и}$$

$$B_{мас} = \frac{m_1 - m}{m} 100\%,$$

где m_1 — масса образца, насыщенного водой, г; m — масса сухого образца, г; V — объем образца в естественном состоянии, $см^3$. Электрофарфор и стекло не впитывают воду. В. (по массе) *гранита* равна 0,5—0,7%; *плотного бетона* — 2—3; *плиток керамических* для полов — 1—4; *глиняного кирпича* — 8—20; *газогилса* — 50—76; *микропорита* — 60—140%. В. уменьшают, увеличивая число закрытых пор, снижая гидрофильность, повышая плотность и температуру обжига (рис.). Для определения В. образцы материала насыщают водой, постепенно погружая их в воду или выдерживая в кипящей воде либо в воде под вакуумом. Предварительно исследуемые образцы высушивают до постоянной массы. См. также *Водостойкость*.

Лит.: Воробьев В. А. Лабораторный практикум по общему курсу строительных материалов. М., 1972; Воробьев В. А. Строительные материалы. М., 1973. Е. Л. Гуменюк.

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ — свойство материала пропускать под давлением воду. Характеризуется количеством воды, прошедшей в течение часа через $1 см^2$ площади испытываемого материала при постоянном давлении. Связана гл. обр. с *плотностью* и особенностью капиллярно-порового пространства материала. Определяется скоростью движения воды в капиллярах, которая зависит в основном от их диаметра. Микрокапилляры не пропускают воду даже при давлении, достигающем десятков атмосфер, чем, в частности, обуславливается водонепроницаемость тонкодисперсных глин и их способность коагулировать силикатные и цементные материалы. В капиллярах переменного сечения происходит резкое (в несколько раз) понижение скорости фильтрации воды (т. н. эффект Жамэна). К практически

водонепроницаемым относятся особо плотные материалы (*сталь, стекло*) и материалы с мелкими замкнутыми порами (некоторые *огнеупорные материалы, керамические материалы, спец. бетоны*). Материалы, характеризующиеся сообщающимся капиллярно-поровым пространством (*тяжелый бетон, силикатные материалы*), водонепроницаемы при различном избыточном давлении воды (рис.). Материалы для сооружений спец. назначения (резервуаров, отстойников, водопроводных и канализационных труб, фундаментов и дорожных оснований) должны отличаться низкой В., поскольку перемещение влаги в материале конструкций в сооружений происходит чаще всего при малом перепаде давления (0,001—0,1 ат.). Для определения В. используют различные (обычно нестандартные) устройства, позволяющие создавать одностороннее давление заданной величины. Измеряют В. предельной величиной давления, при котором вода проходит через образец материала. Для гидроизоляционных материалов, кровельных, антикоррозионных и др. материалов В. служит важнейшим показателем качества. Некоторые материалы характеризуют «обратным» свойством — водонепроницаемостью. Так, по водонепроницаемости (выдерживаемому давлению воды в кгс/см²) различают бетоны марок В2, В4, В6, В8 и В12. Их водонепроницаемость увеличивают подбором состава и метода уплотнения, а также применением уплотняющих добавок (напр., уплотнением гидрофобного цемента).

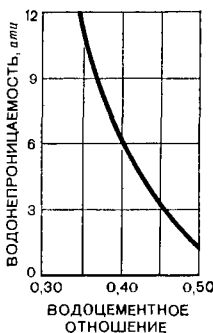
Лит.: Волков М. И., Пантелева Ф. И. Пособие к лабораторным работам по испытанию дорожно-строительных материалов. М., 1961; Воробьев В. А. Лабораторный практикум по общему курсу строительных материалов. М., 1972.

О. П. Мчедлов-Петросян.

ВОДОРОД (Hydrogenium; от греч. ὕδωρ — вода и γεννάω — рождать), Н — хим. элемент, первый в периодической системе элементов; ат. м. 1,0079. В обычных условиях газ без цвета, запаха и вкуса. Проявляет различные степени окисления, образуя ковалентные связи

(Н₂, НСl, органические соединения), выступая в виде положительно заряженного протона в к-тах, в виде отрицательно заряженного Н⁻ в солеобразных *гидридах* и участвуя в металлической связи в *гидридах* переходных металлов. Природный В. состоит из смеси изотопов; легкого В., или протия ¹Н (99,98%) и тяжелого В. (²Н), или дейтерия D (0,02%) с массовыми числами соответственно 1 и 2. В небольших количествах существует в природе и получен искусственно бета-радиоактивный изотоп В. (³Н), или тритий Т с массовым числом 3, период полураспада к-рого 12,262 года. Изотопы В. сильно отличаются по своим св-вам вследствие большого различия масс. В. — самый распространенный элемент вселенной, напр. атмосфера Солнца содержит 84% В. Земная кора на 1,0% по массе и на 16 ат. % состоит из В., гл. обр. в виде воды. Почти все орган. вещества содержат В.; он встречается в вулканических и др. природных газах. Впервые В. выделил англ. физик и химик Г. Кавендиш в 1766, назвав его «горючим воздухом». В 1787 франц. химик А. Лавуазье определил «горючий воздух» как новый хим. элемент и дал ему современное название. В обычных условиях молекула В. состоит из двух атомов, связанных ковалентной связью. При высоких т-рах молекулярный В. диссоциирует на атомы (степень диссоциации при т-ре 2500° С равна 0,0013, при

Зависимость водонепроницаемости цементного камня от водоцементного отношения.



т-ре 5000° С составляет 0,95). Молекулярный В. — легчайший газ (в 14,32 раза легче воздуха); плотность его (т-ра 0° С, давление 1 атм) 0,089870 г/л; $t_{пл} = 259,4^\circ \text{С}$; $t_{кип} = 252,6^\circ \text{С}$. Критическая точка: т-ра — 239° С, давление 12,8 атм, критическая плотность 0,031 г/см³. Температурный коэффициент объемного расширения (в интервале температур 0—100° С, давление 1 атм) 0,003662.

Из всех газов В. обладает наибольшей теплопроводностью, равной (т-ра 0° С) 0,000412 кал/см · сек × град. Теплоемкость (в интервале т-р 12—198° С) при пост. давлении 3,394 кал/г · град. Жидкий В. — прозрачная, бесцветная, не проводящая электр. тока жидкость, поверхностное натяжение к-рой в 35 раз меньше, чем у воды. Плотность жидкого В. при т-ре кипения 0,0708 г/см³. Теплота испарения (т-ра 20,4 К) 108—114 кал/г. При т-ре 1,65 К твердый В. имеет гексагональную решетку с периодами $a = 3,75 \text{ \AA}$, $c = 6,13 \text{ \AA}$, $c/a = 1,633$. Рентгеновская плотность 0,088 г/см³. Теплота плавления ~ 14 кал/г. Сжимаемость твердого В. наибольшая по сравнению со сжимаемостью твердых тел и составляет (т-ра 4,2 К, давление ~ 10 000 атм) $4,8 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{кг}$. В. плохо растворяется в воде (при т-ре 20° С в 100 объемах воды растворяется 1,82, при т-ре 80° С — 0,85 объема В.). Еще меньше растворимость В. в органических растворителях. В небольших количествах растворяется во всех расплавленных металлах, во многих (никеле, платине и др.) хорошо, особенно в палладии (850 объемов на 1 объем палладия). При высоких т-рах растворяется в огнеупорных материалах, в кварце (при т-ре 690° С и давлении 788 мм рт. ст. содержится 6,0 × 10⁻⁸ г/см³ В.). В. — один из самых реакционноспособных хим. элементов, непосредственно взаимодействует со мн. металлами и неметаллами, входит в состав мн. неорганических и почти всех органических соединений. В обычных условиях молекулярный В. малоактивен. Однако при нагревании вступает в реакцию со мн. хим. элементами; с кислородом образует воду (пре-

делы взрывоопасности от 4 до 94% В.), с фтором реакция идет со взрывом, с хлором и бромом — при освещении, с йодом — только при нагревании. С азотом взаимодействует (с образованием аммиака) при наличии катализатора, под давлением и при высокой т-ре. При нагревании В. энергично реагирует с серой, значительно труднее — с селеном и теллуром. Непосредственно реагирует с некоторыми металлами (щелочными, щелочноземельными и др.), образуя гидриды (NaNH₂, CaH₂, TiH₂ и т. д.). Пром. способы получения В. — переработка коксовых газов и газов крекинга нефти, природных газов, гл. обр. метана, на основе реакций $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3\text{H}_2$ и $\text{CH}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + 2\text{H}_2$ и кон-

версии водяного пара. Чистый В. получают электролизом водных растворов щелочей. В. применяют в хим. пром-сти, гл. обр. для синтеза аммиака; в произ-ве метилового и др. спиртов, синтетического бензина и др. продуктов на основе взаимодействия В. с окисью углерода. В. используют также для гидрогенизации твердого и жидкого топлива, жиров, для синтеза соляной к-ты, при сварке и резании металлов кислородно-водородным пламенем, для восстановления руд. Дейтерий и тритий нашли применение в атомной энергетике.

Лит.: Вольфович С. И. [и др.]. Общая химическая технология, т. 1. М. — Л., 1952; Лебедев В. В. Водород, его получение и использование. М., 1958; Галaktionова Н. А. Водород в металлах. М., 1967; Некрасов Б. В. Основы общей химии, т. 1 — 2. М., 1973; Nouveau traité de chimie minérale, t. 1. Paris, 1956; Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie, System Nr. 2. Berlin, 1963.

В. И. Михеева.

ВОДОСТОЙКОСТЬ — способность материала сохранять физико-механические свойства при насыщении водой. Связана с плотностью и, в частности, с видом пор и капилляров материала. У одних материалов (напр., необожженных глиняных) прочность вследствие насыщения водой уменьшается, у других (напр., у цементного бетона при твердении) увеличивается. Снижение прочности обуславливается воздействием

адсорбционно-активной среды (эффектом Ребиндера), растворением метастабильных контактов срастания кристаллов и набуханием содержащихся в некоторых материалах глинистых минералов. Повышение прочности происходит вследствие реакции между цементом и водой. Для определения В. образец материала насыщают водой в течение 72 ч, а затем испытывают на прочность (рис.). Количественно В. характеризуют коэффициентом размягчения $K_{\text{разм}}$, представляющим собой отношение величины предела прочности на сжатие насыщенного водой материала к величине предела прочности на сжатие сухого мате-

риала $K_{\text{разм}} = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}}$. Малой В. ($K_{\text{разм}} \rightarrow 0$) характеризуются, напр., некоторые каменные природные материалы, содержащие большое количество глины. Большой В. ($K_{\text{разм}} \rightarrow 1$) обладают сталь, стекло и фарфор. У водостойких материалов $K_{\text{разм}} > 0,8$. В. повышают нанесением гидрофобизирующих составов (см. *Гидрофобность*), напр. кремнийорганических соединений. В. учитывают, выбирая материал для сооружений, подвергающихся воздействию воды (опор мостов, плотин, фундаментов и др.). См. также *Гидроизоляционные материалы*.

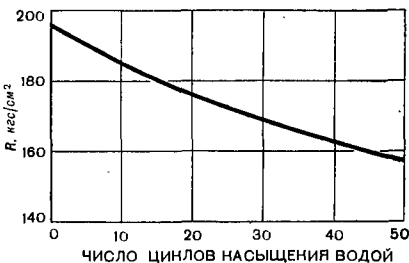
Лит.: Воробьев В. А., Комар А. Г. Строительные материалы. М., 1971.

О. П. Мchedлов-Петросян.

ВОЗВРАТ КРИСТАЛЛОВ — частичное восстановление физ. и хим. свойств упороченных кристаллов без изменения размера и кристаллической ориентации зерен. Происходит до или вместо рекристаллизации. Протекает при нагреве после пластического деформирования, после быстрого охлаждения от высоких температур, облучения электронами или нуклонами, распада пересыщенных твердых растворов и др. обработки кристаллов, приводящей к образованию неравновесных дефектов. Возврат обуславливается результирующим уменьшением свободной энергии кристалла, его кинетика определяется термической подвижностью

дефектов. В. — следствие перераспределения и заживления точечных и линейных дефектов при отжиге кристаллов (поэтому иногда его называют «отжигом дефектов»). Различают две стадии возврата — отдых и полигонизацию. Отдых — перераспределение точечных дефектов (уменьшение их концентрации) и дислокаций — протекает при нагреве до сравнительно низких т-р (примерно 0,2 от абс. т-ры плавления) (см. также *Отдых кристаллов*). Полигонизация — дробление зерен на субзерна (полигоны) с малоугловыми границами в результате движения дислокаций и образования дислокационных стенок — происходит при более высокой т-ре, чем т-ра отдыха. На этой стадии изменяется структура металла, наблюдаются изменения рентгеновской дифракционной картины (ширины и формы рентгеновских пятен или линий) и образование субструктуры внутри зерен (см. также *Полигонизация, Полигональная структура*). В соответствии с классификацией Ван Бюрена, возврат подразделяют на пять стадий в зависимости от эффективной энергии активации (по скорости изменения электросопротивления). В свою очередь, эти стадии подразделяют на подстадии (табл.). Однако такая классификация не раскрывает механизмов процесса возврата (сказывается сильная зависимость эффективных энергий активации и температурных интервалов протекания различных процессов от примесей). Кроме того, не каждый процесс возврата может быть охарактеризован простой экспоненциальной зависимостью его кине-

Зависимость предела прочности на сжатие глиняного кирпича от числа циклов насыщения водой, характеризующая его водостойкость.



тики от т-ры. Во мн. металлах несколько процессов возврата происходят одновременно, и их разделение по кинетике изменения электросопротивления практически неосуществимо. Лучшей является структурная классификация, основанная на различных механизмах процессов возврата, к-рые определяются соотношением скоростей изменения тепло-содержания и удельного объема при нагреве металла (см. *Калориметрический анализ, Волюмометрический анализ*). Эти отношения существенно отличаются для различных стадий возврата. Механизмы некоторых поздних стадий возврата могут быть определены и с помощью *электронно-микроскопического анализа* или *рентгеноструктурного анализа*. Первые четыре стадии по классификации Ван Бюрена соответствуют отдыху кристаллов согласно структурной классификации, а пятая стадия — формированию полигональной структу-

ры и рекристаллизации. *Текстура металла* при возврате практически не изменяется, а многие его св-ва приближаются к св-вам, присущим недеформированному металлу. Изменяются *теплосодержание, удельный объем, теплопроводность* и *электропроводность* в области низких т-р, термоэдс, магн. св-ва (напр., у ферромагнитных материалов — *коэрцитивная сила, намагниченность*), мех. св-ва (*твердость, предел прочности, предел текучести, удлинение* и др.), хим. св-ва (скорость коррозии, каталитическая активность и др.). В материалах, слабоупрочненных облучением электронами или нуклонами, возврат является единственной формой разупрочнения. При эквивалентной степени упрочнения деформированием разупрочнение, достигнутое в результате

Классификация процессов возврата кристаллов

Классификация по Ван Бюрону				Структурная классификация	
Стадия	Под-стадия	Интервал температур, К	Энергия активации, эв	Процесс	Стадия
I	A B C D E	30—40	0,1—0,2	Рекомбинация ближних пар Френкеля Рекомбинация дальних пар Френкеля	X
II	A B C	90—200	0,2—0,5	Миграция междоузельных атомов к стокам Миграция пар междоузельных атомов к стокам	Б Д
III	A B	210—320	0,7	Миграция бивакансий к стокам Миграция вакансий к ловушкам	Г
IV	—	~ 400	1,2	Миграция вакансий к дислокациям Рекомбинация винтовых дислокаций противоположных знаков	О
V	—	> 500	2,1	Рекомбинация краевых дислокаций противоположных знаков Образование субзерен Рост субзерен Разворот субзерен Первичная Вторичная Собирательная	Полигонизация Рекристаллизация

Примечания: 1. Числовые значения т-р и энергий активации приведены для меди. 2. Рекристаллизация не относится к процессам возврата, хотя по классификации Ван Бюрена она входит в пятую стадию.

возврата, больше у металлов с объемноцентрированной кубической решеткой и растет с увеличением энергии дефектов упаковки, что происходит вследствие более высокой термической подвижности атомов (при одинаковой т-ре) в металлах с объемноцентрированной решеткой по сравнению с металлами, обладающими плотноупакованной кристаллической решеткой. Скорость В. к. максимальна в начальный момент, быстро уменьшается с течением времени, а с повышением т-ры растет примерно экспоненциально. В. к. слабо зависит от степени деформации и протекает быстрее, чем рекристаллизация при малых ее степенях. При больших степенях деформации достичь полного В. к. можно, применяя длительный отжиг при т-ре, недостаточной для развития рекристаллизации. Практически полный возврат после сильного деформирования достигается в металлах с объемноцентрированной кубической решеткой и высокой энергией дефектов упаковки. Динамический В. к. происходит непосредственно в ходе упрочнения. Одновременно с образованием происходят перераспределение, рекомбинация и частичная аннигиляция дефектов. Интенсивность этих процессов растет с повышением т-ры. При наиболее низких т-рах упрочнения происходит рекомбинация ближних пар Френкеля, затем дальних пар. В процессе повышения т-ры упрочнения наблюдается аннигиляция на различных стоках междоузельных атомов, а затем вакансий. Еще более высокая т-ра необходима для перераспределения и частичной аннигиляции дислокаций. Динамический В. к. играет большую роль при горячем деформировании металлов, а также ползучести. В. к. наблюдается и при кратковременном нагреве предварительно состаренных сплавов (см. *Старение металлов*). В этом случае восстановление физ. и хим. свойств является следствием залочивания плоских и объемных дефектов кристаллов при обратном растворении метастабильных фаз выделения. В. к. используют для улучшения пластичности

Лит.: Лариков Л. Н. Отдых, полигонизация, рекристаллизация и рост зерен. В кн.: Гердрикен С. Д. [и др.]. Физические основы прочности и пластичности металлов. М., 1963; Лариков Л. Н., Корюшин Ю. В., Никитин Б. Г. Разделение различных необратимых процессов, протекающих при отжиге деформированных медных сплавов. В кн.: Металлофизика, в. 57. К., 1975; Векс Р. А. Annealing in cold worked metals. «Advances in Physics», 1954, № 3; Ползучесть и возврат. Пер. с англ. М., 1961; Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. Пер. с англ. М., 1962.

Л. Н. Лариков.

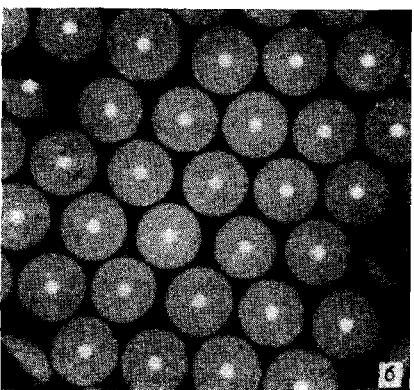
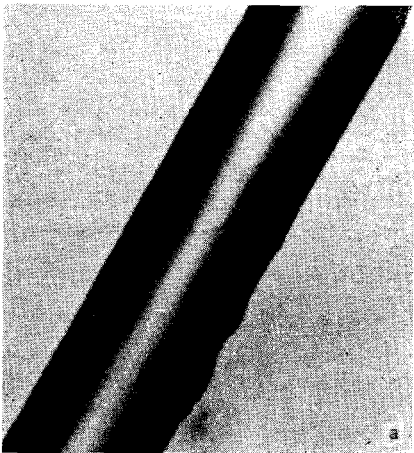
ВОЗГОРАНИЕ — то же, что и *воспламенение*.

ВОЛЛАСТОНИТ [по имени англ. химика У. Х. Волластона (W. H. Wollaston)], $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ — минерал класса *силикатов*. Синоним: дошатайшпат. Хим. состав (%): CaO — 48,3; SiO_2 — 51,7. Примеси: FeO (до 9%), а также Na_2O , MgO и Al_2O_3 . В., богатый железом, наз. ферроволластонитом. Известны три полиморфные модификации метасиликата кальция: высокотемпературная триклинная — псевдоволластонит $\beta\text{-Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ и две низкотемпературные: моноклинная — параволластонит и триклинная — волластонит $\alpha\text{-Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$. Параволластонит при т-ре 1120°C обратимо превращается в псевдоволластонит. Структура цепочечная. Вид симметрии триклинного альфаволластонита пинакоидальный. В виде кристаллов встречается сравнительно редко. Кристаллы имеют таблитчатый или удлинённый облик. Образованы гранями пинакоида {001}, реже {100}, а также призмы {110} и {101}. Часты двойники по {100}. Обычно образует агрегаты — листоватые, лучистые, шестоватые, скорлуповатые, волокнистые — с параллельным и сетчатым расположением отдельных волокон. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по {100}, средняя по {001}. Плотность 2,78—2,92 г/см³. Твердость 4,5—5. Цвет (см. *Цвет минералов*) белый, нередко с сероватым, желтоватым или красноватым оттенком. Черта белая. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Излом (см. *Излом минералов*) неровный. Прозрачный до просве-

чивающего. В олифах бесцветный, двухосный, оптически отрицательный; $2V = 35-40^\circ$, с $N_p = 32^\circ$.

Показатели преломления: $n_g = 1,631-1,635$; $n_m = 1,623-1,633$; $n_p = 1,616-1,621$; $n_g - n_p = 0,014-0,015$. Удлинение бывает положительным и отрицательным. Наличие железа в структуре В. увеличивает показатели преломления и угол оптических осей (у ферроволластонита показатели преломления: $n_g = 1,653$; $n_p = 1,640$; $n_g - n_p = 0,013$; $2V = -60^\circ$). В соляной к-те разлагается с выделением сту-

Непрерывное армирующее волокно карбида кремния: а — внешний вид; б — поперечный разрез (в центре волокна — вольфрамовая основа). Диаметр волокна — 0,1 мм.



денистой двуокиси кремния. Обычно встречается в контактово-метаморфизованных известняках, скарнах и мраморах, где образуется в результате взаимодействия карбоната кальция и двуокиси кремния. Образуется также при региональном метаморфизме известковистых осадочных и некоторых щелочных магматических пород (ийолитов, фonoлитов и др.). Получен при рекристаллизации сплавов CaF_2 и SiO_2 ; нагреванием смеси CaCO_3 и SiO_2 с водой в запаянной трубке при т-ре $400-425^\circ \text{C}$. При сплавлении SiO_2 с CaO или CaCl_2 образуется псевдоволластонит. Используется гл. обр. для произ-ва спец. высокочастотной радиоэлектрики, *фаянса, фарфора*, изоляторов с исключительно низкими диэлектрическими потерями, санитарных изделий, стеновых плит, облицовочных кирпичей, изразцов, спец. цементов для керамики и абразивов. Применяется также как *добавка или наполнитель* в глазури, краски, лаки, стекла, асбест, бумагу, массу для асфальтовых плит, для изготовления специальных фильтров различного назначения, минеральной ваты, разных поглотителей и др.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Геологический словарь, т. 1. М., 1973; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 2. Пер. с англ. М., 1965; Костов И. Минералогия. Пер. с англ. М., 1971. В. Т. Латыш.

ВОЛОКНА металлов и неметаллов — нити, длина к-рых значительно превышает их весьма малый диаметр. Пром. производство первых волокон (бора, углеграфитовых, карбида кремния) относится к началу 50-х гг. 20 в. В. отличаются значительной мех. прочностью и высоким модулем упругости. У многих из них низкая плотность, они сохраняют неизменными физико-механические св-ва при высокой т-ре. Различают В. металлические и неметаллические; непрерывные и дискретные, или *нитевидные кристаллы*. Для произ-ва металлических В. (табл. 1) прибегают к протяжке и волочению, а также к спец. способам. Так, ультратонкие

непрерывные нити из жаропрочных сплавов получают вытягиванием в пучке. Прочностные характеристики таких нитей значительно выше, чем у тянутых через алмазные фильеры. Иногда их прочность увеличивается на 100% и более. Дискретные нити получают газофазным осаждением с использованием капли металла-растворителя на индифферентной основе.

Недостатки некоторых металлических нитей: высокая плотность (у молибдена и особенно у вольфрама), низкая термостойкость (у сталей и бериллия). Неметаллические В. разделяют на армирующие (рис. 201) и теплоизоляционные. Непрерывные армирующие В. подразделяют, в свою очередь, на одно- и многофазные (табл. 2). Непрерывные нити получают осаждением необходимого соединения на тонкую нагретую основу из парогазовой фазы, *экструзией* пластифицированных порошковых смесей с последующим спеканием и др. способами. Так, борные В. (и все др. многофазные непрерывные нити) по-

лучают осаждением бора (или другого соответствующего соединения) из парогазовой фазы на нагретую основу (см. Газофазные покрытия) — вольфрамовую или угольную нить диаметром 10—20 мм. Экструзией коллоидных растворов получают

Таблица 1. Свойства металлических волокон

Волокно	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\sigma_{всп}, \text{кгс/мм}^2$	$E_{сп}, \text{кгс/мм}^2$
Непрерывные волокна				
Вольфрамовое	3400	19,4	406	41 300
Молибденовое	2620	10,2	574	36 400
Из нержавеющей стали	1400	7,8	420	20 300
Из сплава Рене 41	1350	8,3	203	16 800
Бериллиевое	1280	1,8	130	24 500
Дискретные волокна				
Медное	1083	8,9	300	12 600
Никелевое	1455	9,0	392	21 700
Железное	1540	7,8	1330	20 300
Хромовое	1890	7,2	903	24 500

Таблица 2. Свойства неметаллических волокон

Волокно	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\sigma_{всп}, \text{кгс/мм}^2$	$E_{сп}, \text{кгс/мм}^2$
Непрерывные волокна				
Однофазные				
Оксид алюминия	2040	3,15	210	17 500
Оксид циркония	2650	4,84	210	35 000
Углерод (графит)	3650	1,50	245	21 000
Нитрид бора	2980	1,90	140	9100
Стекло (кварц)	1660	2,19	295	7350
Многофазные				
Бор	2300	2,4—2,6	350	38 500
Карбид бора	2450	2,4—2,6	350	49 000
Карбид кремния	2990	3,8—4,0	350	49 000
Борид титана	2980	4,5—4,6	105	51 800
Дискретные волокна				
Оксид алюминия	2040	3,96	2100	43 400
Оксид бериллия	2570	2,85	1330	35 000
Карбид бора	2450	2,52	1400	49 000
Карбид кремния	2690	3,21	2100	49 000
Нитрид кремния	1900	3,18	1400	38 500
Графит	3650	1,66	2000	71 400

непрерывные нити окислов алюминия, циркония и др. Затем в процессе сушки и последующего отжига образуются поликристаллические однофазные нити. Прочность неметаллических В., как хрупких материалов, обуславливается их мелкозернистой структурой, отсутствием концентраторов напряжений (см. *Концентрация напряжений*) и внутренних напряжений. Дискретные нити получают аналогично металлическим. В качестве неметаллических теплоизоляционных нитей используют асбестовые волокна, базальтовые волокна и т. п. Как металлические, так и неметаллические волокна используют для армирования композиционных материалов. В молибдена, вольфрама, окислов алюминия и циркония наиболее перспективны для армирования жаропрочных металлических основ, непрерывные многофазные В. карбида кремния и бора — для армирования алюминия, титана и их сплавов. В. всех видов используют также для создания пористых материалов, гл. обр. теплоизоляционных и фильтровых (см. также *Волокнистые материалы*). С этой целью чаще всего применяют волокна меди, алюминия, титана, различных сталей, никрома, стеклянные (см. *Стеклянное волокно*), графитовые, асбестовые, кремнеземные и др.

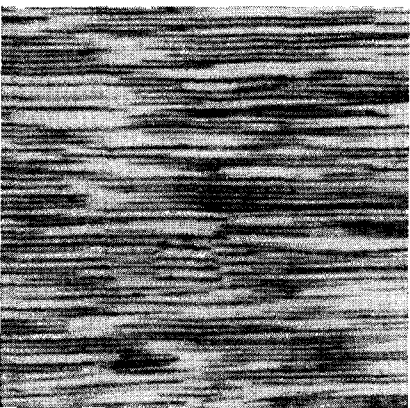
Лит.: Новые тугоплавкие металлические материалы. М., 1971; Новое в производстве

химических волокон. Пер. с англ. М., 1968; Современные композиционные материалы. Пер. с англ. М., 1970.

Э. В. Прилуцкий.

ВОЛОКНИСТАЯ СТРУКТУРА — структура материала, составляющие (фазы) которой отличаются волокнистым строением. Образуется при армировании материала (см. *Армированные материалы*) моно- или поликристаллическими волокнами, при направленном выделении одной из фаз во время эвтектического или эвтектоидного превращения сплавов или при изменении формы изометрической (равноосной) второй фазы на ориентированную в направлении течения деформируемого металла. В металлах В. с. можно получить также из *полосчатой структуры* при определенной геометрии деформирования, напр., волочением или *экструзией*. Кроме того, к волокнистой относятся текстурированные структуры некоторых металлов и сплавов и колонии сотового *ледебурита* в белом чугуна. Выявляют В. с. специальным травлением шлифов. Разновидности В. с. свойственны многим материалам. Так, В. с. композиционных материалов, полученных армированием, — дискретная или непрерывная. В этих материалах объемное соотношение фаз и форма армирующего каркаса обусловлены гл. обр. технологическими возможностями изготовления. Структура, полученная при эвтектическом или эвтектоидном превращении, определяется скоростью перемещения фронта кристаллизации, энергией межфазных границ и объемной долей армирующей фазы. Степень ориентации таких структур зависит от чистоты исходных компонентов и скорости направленного превращения. Свойства материала с В. с. и их анизотропия определяются степенью ориентации структурных составляющих. У композиционных материалов с однонаправленной В. с. (рис.) наблюдается максимальная анизотропия мех. св-в. Прочностные характеристики таких материалов наивысшие при нагрузке вдоль волокон, тогда как ударная вязкость наибольшая при нагрузке поперек их. Вследствие этого чаще всего

Волокнистая структура алюминия с однонаправленно ориентированными армирующими волокнами металлида Al_3Ni , $\times 750$.



используют композиционные материалы с волокнами разной степени ориентации (напр., армирующий каркас типа «войлока»), свойства которых во всех направлениях одинаковы. Иногда волокнистостью, вызывающей снижение свойств в поперечном направлении, пренебрегают, напр. если на изделия действует только продольная нагрузка (пластины рессорной стали, канатная проволока и др.). У таких материалов волокна должны располагаться вдоль линий действия максимальных растягивающих напряжений. См. также *Волокнистые материалы*.

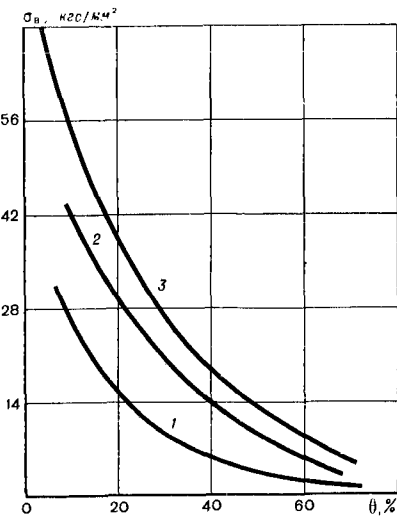
Лит.: Голиков И. Н. Дендритная ликвация в стали. М., 1958; Бунин К. П., Малиновка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. М., 1969; Упрочнение металлов волокнами. М., 1973; Гудремон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966; Монокристаллы и армированные ими материалы. Пер. с англ. М., 1973.

Ю. С. Вельянский.

ВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, состоящие (полностью или частично) из металлических или неметаллических волокон. Первые В. м. созданы в конце 40-х гг. 20 в. в США. Простейшими В. м. являются *пористые материалы* и высокопористые (с общим объемом пор соответственно менее и более 50%). Различают также волокнистые *композиционные материалы*, у которых волокна введены в металлическую или неметаллическую основу для повышения прочности или придания материалу спец. св-в. Составные части пористых и высокопористых В. м. — волокна меди, никеля, железа, алюминия, титана, нержавеющей стали, углеродистой стали, хрома, асбестовые волокна, волокна кварцевые, кремнеземные и др. Для армирования используют волокна вольфрама, молибдена, бериллия, бора, высокопрочной стали, графитовые и стеклянные волокна, а также *нитридные кристаллы*. В. м. обладают уникальным комплексом св-в. Так, при использовании волокон в качестве исходного материала можно достичь *пористости* от 5 до 98% с сохранением достаточной прочности и жесткости вследствие прочного сцепления волокон друг

с другом и большого количества контактов, приходящихся на одно волокно (рис.). При пористости свыше 10% в В. м. практически нет закрытых пор, чем объясняется более высокая проницаемость таких материалов (см. *Проницаемость материалов*) по сравнению с порошковыми. Ср. размер пор в В. м. — от долей и единиц до десятков и сотен микрометров. Возможность реализации в волокнистых каркасах структуры объемной сетки с совершенными или близкими к ним контактами позволяет достичь высоких значений прочности при разрывных, изгибающих и ударных нагрузках. При производстве пористых В. м. применяют методы порошковой металлургии: одно- или двустороннюю обработку давлением в пресс-формах, гидростатическое прессование, прокатку, спекание. Вследствие значительного различия длины и диаметра волокон, плохой их сыпучести и низкой насыпной массы из них после обезжиривания (в трихлорэтилене, перекиси натрия или гидроокиси аммония) предварительно изготавливают войлок, что снижает разброс св-в в изделиях. Различают войлокование жидкостное,

Зависимость прочности волокнистых материалов на растяжение от пористости: 1 — волокна из низкоуглеродистой стали; 2 — волокна из нержавеющей стали; 3 — волокна из низкоуглеродистой стали, покрытые медью.



воздушное, гравитационное и вакуумное. При жидкостном войлоковании готовится взвесь волокон в какой-либо вязкой жидкости, полученную суспензию заливают в пористую форму, соответствующую конфигурации готового изделия. Жидкость удаляют вакуумным отсосом, волокна равномерно оседают в форме в виде войлока. Характеристики войлока определяются диаметром, длиной и состоянием поверхности исходных волокон. Для того, чтобы улучшить сцепление волокон друг с другом, перед осаждением их обычно изгибают или закручивают. Дальнейшая обработка войлока может быть различной. Одно- или двустороннее прессование способствует ориентации волокон в плоскости приложения давления; гидростатическое прессование, напротив, уменьшает *анизотропию* св-в. Для изготовления пористых изделий из волокон необходимо, как правило, давление 5—35 кгс/мм². В отличие от прессования прокатка позволяет изготавливать непрерывный листовой материал. При этом степень обжатия около 75% не вызывает заметного закрытия пор на поверхности материала. Предварительное пропитывание войлока воском, смолами или смесью солей (44,5% KNO₃ и 55,5% NaNO₃ при т-ре 190° С) дает возможность использовать *экструзию* при

изготовлении пористых изделий в виде труб и цилиндров. К такому же пропитыванию прибегают с целью сохранения пористой структуры материала при резании материалов из волокон. После экструзии или мех. обработки пропитывающее вещество удаляют. Прочность пористых В. м. часто повышают спеканием, к-рое аналогично спеканию порошковых материалов. Т-ра спекания обычно составляет 90—96% от абс. т-ры плавления материала волокон. Спекание при наличии жидкой металлической фазы или активирующих добавок позволяет снизить т-ру и сократить время процесса. Спекание материала из волокон осуществляют также пропусканием через них импульсов электр. тока пост. или перем. длительности. В. м. используют в различных отраслях народного хозяйства. Так, пористые В. м. применяют для очистки жидкостей и газов, охлаждения высокотемпературных узлов, осуществления реакций в кипящем слое, смешения жидкостей и газов, обогащения полезных ископаемых. Высокопористые В. м. используют для изготовления прокладок и набивок, вибропоглощения, звукоизоляции (см. *Стекловолоконистые материалы*), теплоизоляции и т. д. См. также *Звукоизоляционные материалы*.

Лит.: Композиционные материалы волокнистого строения. К., 1970; Волокнистые композиционные материалы. Пер. с англ. М., 1967; Современные композиционные материалы. Пер. с англ. М., 1970.

А. Г. Косторнов.

ВОЛОСОВИНА — дефект металла, гл. обр. стали, в виде очень тонкой трещины. Длина В.— от одного до десятков миллиметров, ширина различна и зависит от природы дефекта. В. возникает при ковке, прокатке или волочении и обусловливается порками в исходном материале. Различают В. поверхностные (и приповерхностные) и внутренние (глубинные). Поверхностные В. (рис.) представляют собой раскаты поверхности дефекты — раковины, заливны, плены и газовые пузыри, а также раскаты дефекты, возникшие из-за нарушения технологии обработки,— склад-

Поверхностная волосовина.



ки, закаты и захваты. В. такого вида обнаруживают невооруженным глазом или методами *магнитной дефектоскопии*. Сомнительные места исследуют с помощью лупы. Чтобы опрелделить степень пораженности волосовинами, прибегают к ступенчатой отточке образцов. Допустимое количество и размеры В. устанавливаются техническими условиями для того или иного изделия. Поверхностные В. удаляют шлифованием наждачными кругами, вырубкой пневматическими зубилами или обдиркой на станках. Появление в н у т р е н н и х В., обусловленных наличием *неметаллических включений и шлаковых включений*, может привести к большим потерям металла, особенно если дальнейшая мех. обработка связана с полированием или шлифованием. Во избежание такого брака с обработанной заготовки снимают подкорковый слой металла.

Лит.: Д о ш к а р е в В. Ф. Производство стальных поковов, ч. 1. М., 1953; Г л и к и н Н. М., С о с н е н к о М. Н. Технология горячей обработки металлов. М., 1961; Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. 1. М., 1961; П о л у х и н П. И. [и др.]. Прокатное производство. М., 1968.

А. М. Шалаев.

ВОЛЬФРАМ (Wolframium; от нем. Wolf — волк и Rahm — пена), W — хим. элемент VI группы *периодической системы элементов*; ат. н. 74, ат. м. 183,85. Тугоплавкий тяжелый металл светло-серого цвета. В соединениях проявляет степени окисления от 2 до 6, наиболее устойчивы соединения со степенью окисления 6. Природный В. состоит из смеси стабильных изотопов ^{180}W (0,135%), ^{182}W (26,41%), ^{183}W (14,4%), ^{184}W (30,64%) и ^{186}W (28,41%). Известны искусственные радиоактивные изотопы ^{181}W , ^{186}W и ^{187}W с периодами полураспада соответственно 145 дней, 74,5 дня и 23,85 ч. Открыт и выделен в 1781 швед. химиком К. Шееле в виде вольфрамового ангидрида WO_3 из минерала тунгстена, впоследствии назв. *шеелитом*. В 1783 исп. химики братья д'Элуяр получили металлический В. в виде порошка восстановлением вольфрамового ангидрида

углем. Пром. применение В. началось во второй пол. 19 в. (в качестве добавки в сталь с целью улучшения ее св-в). Содержание В. в земной коре $1 \cdot 10^{-4}\%$. В свободном состоянии не встречается. Из минералов пром. значение имеют шеелит CaWO_4 и вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn}) \text{WO}_4$. Кристаллическая решетка В. — объемноцентрированная кубическая с периодом $a = 3,1652 \text{ \AA}$; плотность $19,35 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 3395 \pm 15^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 5900^\circ \text{C}$. Теплота плавления 61 кал/г ; теплота испарения 1183 кал/г ; давление пара (*мм рт. ст.*): $1,93 \times 10^{-15}$ (1530°C), $6,55 \cdot 10^{-5}$ (2730°C) и $0,76$ (3940°C); температурный коэфф. линейного расширения (t -ра $0-500^\circ \text{C}$) $4,98 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; коэфф. теплопроводности ($\text{кал/см} \cdot \text{сек} \times \text{град}$): $0,31$ (20°C), $0,28$ (827°C), $0,24$ (1271°C); *теплоемкость* ($\text{кал/г} \cdot \text{град}$): $0,031$ (20°C), $0,0365$ (1000°C), $0,043$ (1400°C) и $0,043$ (2100°C); удельное электрическое сопротивление ($\text{ом} \cdot \text{см} \cdot 10^6$): $5,5$ (20°C), $27,14$ (300°C), $40,00$ (1200°C) и $66,00$ (2000°C); электронная эмиссия (ма/см^2): $1,5 \cdot 10^{-10}$ (830°C), $2,3 \cdot 10^{-1}$ (1630°C), $1,0$ (1730°C), 298 (2230°C) и 1690 (2427°C); энергия, излучаемая при накале (вт/см^2): $18,0$ (1600°C), $64,0$ (2200°C), 153 (2700°C) и 245 (3030°C). В. парамагнитен; сечение захвата тепловых нейтронов $19,2 \text{ барна}$. Мех. св-ва В. зависят от предшествующей обработки. Твердость по Бринеллю спеченного слитка 200—250, кованого 350—400; предел прочности на растяжение прутка кованого 35—150, проволоки неотожженной (в зависимости от диаметра) 180—415, проволоки отожженной 110 кгс/мм^2 ; предел текучести проволоки неотожженной (диаметром 0,1—0,5 мм) 149,1, проволоки отожженной (того же диаметра) 71,4—82,6 кгс/мм^2 ; модуль упругости проволоки 35 000—38 000, монокристаллической нити 39 000—41 000 кгс/мм^2 . В обычных условиях В. химически стоек. Компактный металл начинает окисляться на воздухе при t -ре $400-500^\circ \text{C}$ до трехоксида WO_3 . Пары воды окисляют его при t -ре $600-700^\circ \text{C}$ до WO_2 и WO_3 . При t -ре от $800-1000^\circ \text{C}$ углеродсодержащие газы науглерожива-

В., небольшие примеси связанного углерода в металле понижают электропроводность. С водородом В. не взаимодействует. С азотом при т-ре 2300° С образует нитрид WN_2 , с кремнием и бором при т-ре выше 1400° С — соответственно *силициды* W_3Si , W_5Si_3 (W_3Si_2) и WSi_2 и *бориды* W_2B , WB , WB_2 и W_2B_5 — тугоплавкие твердые соединения с преим. ковалентным типом межатомных связей. С галогенами при высоких т-рах В. образует *галогениды* (фтор с порошкообразным В. взаимодействует при комнатной т-ре) WCl_6 , WCl_5 , WCl_4 , WCl_2 , WF_4 , WBr_6 , WBr_5 , WBr_2 , WJ_4 и WJ_2 , при наличии кислорода или влаги — оксигалогениды WO_2Cl_2 , $WOCl_4$, WOF_4 и WO_2F_2 . При взаимодействии В. с углеродом, начиная от т-р 1000—1500° С, получают твердые тугоплавкие соединения — *карбиды* WC ($t_{пл}$ 2600° С) и W_2C ($t_{пл}$ 2750° С). С серой образует *сульфиды* WS_2 и WS_3 . Со мн. металлами В. образует сплавы и интерметаллические соединения (см. *Вольфрамовые сплавы*, *Ферровольфрам*, *Твердые сплавы*, *Жаропрочные сплавы*, *Псевдосплавы*). На холоду В. устойчив в к-тах и щелочах, при нагревании разъедается азотной к-той и «царской водкой», растворится в смеси азотной и плавиковой к-т. В расплавленных щелочах на воздухе или при наличии окислителей ($NaNO_3$, $KClO_3$) растворяется с образованием *вольфрамов*. Сырьем для произ-ва В. служат вольфрамит и шеелит. Вольфрамовые руды предварительно обогащают с целью получения концентратов, содержащих 50—60% WO_3 . Хим. разложением обогащенных рудных концентратов — спеканием или сплавлением со щелочами, содой, автоклавным разложением растворами соды (шеелит) или разложением растворами едкого натра (вольфрамит) — получают вольфрамат натрия Na_2WO_4 . Из полученного водного раствора вольфрамата натрия осаждают вольфрамат кальция $CaWO_4$ (искусственный шеелит), к-рый разлагают горячей соляной или азотной к-той. Образовавшуюся вольфрамовую к-ту H_2WO_4 очищают растворением в аммиачном растворе и *кристаллизацией* паравольфрамата аммония (упариванием или

нейтрализацией). Прокаливание этой соли дает чистый вольфрамовый ангидрид WO_3 . Шеелитовый концентрат можно также непосредственно разлагать соляной или азотной к-той с последующей аммиачной очисткой образующейся технической вольфрамовой к-той. *Вольфрамовый порошок* получают восстановлением вольфрамового ангидрида водородом при т-ре 850—1200° С (в зависимости от требуемой зернистости) или углеродом при т-ре 1400—1800° С в произ-ве твердых карбидных сплавов. Компактный металл получают гл. обр. методом порошковой металлургии (прессованием и спеканием заготовок из вольфрамового порошка в среде водорода). Полученный В. хорошо поддается обработке давлением (ковке, волочению, прокатке и т. д.) при нагреве ниже т-ры *рекристаллизации*. Развивается вакуумная плавка заготовок В. и его сплавов с др. тугоплавкими металлами. Большую часть добываемого В. используют в произ-ве *вольфрамовых сталей* и сплавов. Наиболее распространены вольфрамовые *быстрорежущие стали*. Спеченные твердые сплавы на основе карбида В. (а также в сочетании с др. карбидами), отличающиеся высокой *износостойкостью*, применяют для резания и обработки металлов давлением, бурения скважин и т. п. Жаропрочные сплавы В. с др. тугоплавкими металлами (молибденом, ниобием, танталом, рением) применяют в авиационной и ракетной технике; сплав вольфрам — рений используют для высокотемпературных термопар. В. используют также в электротехнике, радиоэлектронике, для изготовления электродов электролитных приборов и газоразрядных трубок, антикатодов и катодов рентгеновских трубок, нагревателей высокотемпературных печей, контактов прерывателей в автомобильных двигателях, для нанесения покрытий (см. *Вольфрамирование*) и др. Некоторые соединения В. (напр., Na_2WO_4) применяют в лакокрасочной и текстильной пром-сти, в составе сухих антифрикционных смазок (WS_2 , WSe_2) и т. д.

Лит.: Зеликман А. Н., Меерсон Г. А. *Металлургия редких металлов*. М., 1973; Смителлс К. Дж. *Вольфрам*. Пер. с англ. М., 1958.

[Г. А. Меерсон.]

ВОЛЬФРАМА СПЛАВЫ — сплавы на основе *вольфрама*. В пром. масштабах применяются с 50-х гг. 20 в. Относятся к *жаропрочным сплавам*. В. с. легируют рением, молибденом, никелем, танталом, железом, оксидами, карбидами и др. соединениями (табл.), способствующими повышению *жаропрочности*, *пластичности*, улучшающими обрабатываемость и др. св-ва. Из всех легирующих элементов самое значительное влияние на св-ва В. с. оказывает рений: наряду с повышением жаропрочности он улучшает *свариваемость* и технологическую *пластичность* — резко снижая т-ру перехода сплава из хрупкого в пластичное состояние до т-ры —100° С. Особо ценным свойством сплавов, легированных рением, является *пластичность* в полностью рекристаллизованном состоянии. Вследствие этого в пром-сти наибольшее применение получил сплав, содержащий 27% Re. Кроме *легирования*, большое влияние на мех. и некоторые физ. св-ва сплавов оказывает степень деформирования, которому их подвергают при обработке давлением. *Деформационное*

упрочнение значительно эффективнее, чем упрочнение легированием. Важной особенностью конструктивных сплавов вольфрама является низкотемпературная *хрупкость*, к-рую характеризуют т-рой перехода из вязкого состояния в хрупкое — t_x . Эта характеристика важна при оценке *технологичности* сплавов. Структурные изменения в сплавах, связанные с процессами *рекристаллизации*, также сильно влияют на их свойства. Повышение прочности под влиянием деформирования при рекристаллизации полностью снимается, одновременно с этим, вследствие укрупнения зерна, развития *сегрегаций* примесей внедрения по границам и образования приграничных выделений второй фазы, сплав охрупчивается (повышается t_x). Иногда т-ра рекристаллизации ограничивает его предельную т-ру эксплуатации. Хим. состав сплава, его чистота (отсутствие примесей), а также условия деформирования влияют на т-ру рекристаллизации. Поскольку размер зерна в значительной степени обуславливает мех. и др. св-ва В. с., подбирая условия деформирования и *отжига*, можно корректировать размеры зерен и, следовательно, получать сплавы с необходимыми св-вами. Заготовки из В. с. получают гл. обр. методом порошковой металлургии и вакуумной плавкой. По первому методу

Химический состав вольфрама сплавов

Марка сплава	Содержание элементов						
	W	Re	Mo	Ni	Ta	Fe	SiO ₂
ВА	Основа	—	—	—	—	—	≤0,05
ВМ	»	—	—	—	—	—	≤0,05
ВТ-7	»	—	—	—	—	—	—
ВТ-10	»	—	—	—	—	—	—
ВТ-15	»	—	—	—	—	—	—
ВТ-50	»	—	—	—	—	—	—
ВЛ	»	—	—	—	—	—	—
ВР-5	»	5,0	—	—	—	—	—
ВР-27	»	27	—	—	—	—	—
ВАМ-5	»	—	5,0	—	—	—	≤0,05
ВНБ	»	—	—	5,0	—	—	—
ВР-10	»	—	—	—	0,2	—	—
ВАР-10	»	10	—	—	—	—	≤0,05
ВР20Т2	»	20	—	—	—	—	—
ТС-5	»	—	—	7,0	—	3,0	—

вольфрамовый порошок с необходимыми добавками вначале прессуют (на мех. прессах или в гидростатах) в заготовки заданной формы. После этого их подвергают предварительному спеканию в среде водорода или в вакууме при т-ре 1100—1200° С, а затем окончательному спеканию при т-ре до 3000° С. Пластическое деформирование дает возможность повысить плотность и мех. св-ва сплава, придать будущему изделию необходимую форму. Вакуумной дуговой или электроннолучевой плавкой в водоохлаждаемых медных кристаллизаторах получают заготовки сплавов с миним. количеством примесей. В процессе плавки в расплав вводят хим. элементы, напр. цирконий, углерод и молибден, улучшающие кристаллическое строение и св-ва сплава. Реже применяют фасонное литье, позволяющее получать отливки, размеры к-рых приближаются к размерам готовых изделий. Литье ведут в дуговых или электроннолучевых гарнисажных печах, позволяющих накапливать жидкий металл в тиглях. Такие отливки можно деформировать или использовать как готовые изделия. В дальнейшем заготовки обычно подвергают *экструзии*, в результате к-рой улучшается технологическая пластичность сплава, а после нее — прокатке, ковке, штампованию или волочению, получая прутки, листы, проволоку или трубки. В зависи-

мости от применения В. с. подразделяют на пять групп. К первой группе относятся проволочные и прутковые сплавы (марок ВА, ВМ и ВМ-5), отличающиеся жаропрочностью (до т-ры 2900° С). Их используют в электротех. и электронной пром-сти для изготовления спиралей осветительных и спец. ламп, подогревателей электронных приборов и др. Вторую группу составляют листовые и фольговые сплавы (марок ВР-27 и ВР-10) с высокой технологической пластичностью. Из них изготавливают нагреватели, тепловые экраны и различную высокотемпературную арматуру, применяемую в электротех. и электронной пром-сти. Третья группа — сплавы со спец. физ. св-вами (марок ВТ-7, ВТ-10, ВТ-15, ВТ-50, ВЛ, ВР-5, ВНБ, ВАР-10 и ВР20Т2). К ним относятся также сплавы, стойкие в электр. разряде, обладающие обычно хорошими эмиссионными св-вами. В эту же группу входят и термопарные сплавы. Сплавы со спец. физ. св-вами применяют в электровакуумных приборах. Сплавы, используемые для изготовления крупногабаритных изделий, эксплуатируемых длительно или кратковременно при высокой т-ре (марки ТСВ-1), относятся к четвертой группе. Электроконтактные сплавы (пятая группа) объединяют *псевдосплавы*, в основе к-рых содержится 50—70% W с добавками серебра, меди, железа или никеля (например, сплав марки ТС-5).

Лит.: Тугоплавкие материалы в машиностроении. Справочник. М., 1967; Савицкий Е. М., Бурханов Г. С. Металловедение сплавов тугоплавких и редких металлов. М., 1971; Зеликман А. И., Меерсов Г. А. Металлургия редких металлов. М., 1973; Свойства и применение металлов и сплавов для электровакуумных приборов (Справочное пособие). М., 1973; Копецкий Ч. В. Структура и свойства тугоплавких металлов. М., 1974. А. В. Абалихин.

ВОЛЬФРАМАТЫ — соли вольфрамовых кислот. Первые сведения о В. относятся к концу 18 в., когда швед. химик К. Шееле получил вольфрамовую к-ту разложением *шеелита*. В. встречаются в виде минералов шеелита CaWO_4 , вольфрамита $m\text{FeWO}_4 \cdot n\text{MnWO}_4$, ферберита

и окислов, %				
	K_2O	Al_2O_3	ThO_2	Прочие
0,01	≤0,03	—	—	—
0,01	—	—	0,17—0,25	—
—	—	—	0,7—1,0	—
—	—	—	1,1—1,5	—
—	—	—	1,6—2,0	—
—	—	—	5,0	—
—	—	—	—	0,9—1,1 La_2O_3
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
0,01	≤0,003	—	—	—
—	—	—	—	0,6—1,0 BaO
—	—	—	—	0,15—0,2 ZrC
0,01	≤0,003	—	—	—
—	—	—	0,2	—
—	—	—	—	—

FeWO_4 , гюбнерита MnWO_4 , штольцита PbWO_4 и др. Различают соли вольфрамовой к-ты (простые, двойные, основные и ортовольфраматы) и соли не выделенных в свободном состоянии изополиоксидов (изополивольфраматы). Известны В. всех металлов. В. типа MWO_4 кристаллизуются в тетрагональной (CaWO_4 , SrWO_4 , BaWO_4 , PbWO_4) и моноклинной (напр., MgWO_4 , FeWO_4 , MnWO_4 , CdWO_4) сингониях. Их *растворимость* в воде очень мала. В. типа M_2WO_4 кристаллизуются в кубической (Na_2WO_4 , Ag_2WO_4), ромбоэдрической (Li_2WO_4), моноклинной (K_2WO_4 , Rb_2WO_4), ромбической [Cs_2WO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$] и гексагональной (Ti_2WO_4) сингониях. Для M_2WO_4 характерен *полиморфизм*; они плавятся без разложения в интервале т-р 600—1000° С. В. трехвалентных металлов можно представить в виде общей ф-лы $m\text{M}_2\text{O}_3 \times n\text{WO}_3$, где m и n изменяются в широких пределах, причем наибольшее отношение $\frac{n}{m} = 3$ соответст-

вует простым В. типа $\text{M}_2(\text{WO}_4)_3$. При $\frac{n}{m} < 3$ различают В. от $\text{M}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{WO}_3$ до $3\text{M}_2\text{O}_3 \cdot \text{WO}_3$. В. типа $\text{M}_2(\text{WO}_4)_3$ кристаллизуются в моноклинной и ромбической сингониях; с увеличением содержания M_2O_3 сингония повышается. Известны В. четырехвалентных металлов: $\text{Th}(\text{WO}_4)_2$, $\text{Ti}(\text{WO}_4)_2$, $\text{Zr}(\text{WO}_4)_2$ и $\text{Hf}(\text{WO}_4)_2$. В. многовалентных металлов — тугоплавкие соединения; плавятся в интервале т-р 1100—2200° С. Простые В., за исключением солей щелочных металлов и аммония, плохо растворимы в воде. Получены двойные В.: $\text{M}^{\text{I}}\text{M}^{\text{III}}(\text{WO}_4)_2$, где M^{I} — щелочные металлы, серебро, таллий и аммоний; $\text{M}_5^{\text{I}}\text{M}^{\text{III}}(\text{WO}_4)_4$ и $\text{M}^{\text{I}}\text{M}_3^{\text{III}}(\text{WO}_4)_5$, где M^{I} — щелочные металлы; $\text{M}_2^{\text{I}}\text{M}^{\text{IV}}(\text{WO}_4)_3$ и $\text{M}_{0,5}^{\text{II}}\text{M}_3^{\text{III}}(\text{WO}_4)_5$, где M^{II} — кальций, стронций, барий и M^{IV} — торий, цирконий, гафний; $\text{R}^{\text{I}}\text{R}^{\text{II}}(\text{WO}_4)_3$, где R^{I} и R^{II} — редкоземельные элемент-

ты. Наиболее полно изучены $\text{M}^{\text{I}}\text{M}^{\text{III}}(\text{WO}_4)_2$. Они кристаллизуются в ср. и низшей сингониях, плавятся в интервале т-р 900—1200° С, отличаются полиморфизмом. В. при нагревании разлагаются сильными к-тами и щелочами. Из изополивольфрамов известны дивольфраматы $\text{M}_2\text{W}_2\text{O}_7$, тривольфраматы $\text{M}_2\text{W}_3\text{O}_{10}$, тетравольфраматы $\text{M}_2\text{W}_4\text{O}_{13}$ и паравольфраматы $5\text{M}_2\text{O} \cdot 12\text{WO}_3 \times n\text{H}_2\text{O}$ — т. н. акваполивольфраматы. В. получают спеканием стехиометрических смесей окислов (карбонатов, нитратов, гидроокисей, хлоридов, вольфрамов) металлов с $\text{WO}_3(\text{H}_2\text{WO}_4)$, В. аммония и др. металлов; взаимодействием растворов В. щелочных металлов с растворами солей металлов, В. к-рых плохо растворимы в воде. Малорастворимые В. получают гидротермальным способом и *кристаллизацией* из растворов в расплаве соли щелочного металла. В. натрия Na_2WO_4 используют в произ-ве лаков и пигментов для утяжеления и изготовления огнестойких и водоустойчивых тканей. В. кальция CaWO_4 и бария BaWO_4 входят в состав фосфоресцирующих экранов для рентгенографии, а также термокатодов. Кристаллы CaWO_4 применяют в сцинтилляционных счетчиках как чувствительный индикатор гамма-излучения. В. магния MgWO_4 , цинка ZnWO_4 и кадмия CdWO_4 входят в состав *люминофоров*. В. двух- и трехвалентных металлов, а также двойные $\text{MR}(\text{WO}_4)_2$, где R — редкоземельные элементы, используют в качестве матриц и их легирующих компонентов оптических квантовых генераторов. В. бария Ba_3WO_6 перспективен для изготовления термокатодов, ортовольфраматы редкоземельных элементов — *полупроводниковые материалы* и материалы для магнитогидродинамических генераторов. Изополисоединения вольфрама с добавками окислов европия применяют в качестве элементов электрохимической ячейки, а также контрольных стержней, стойких к *гидратации* в ядерных реакторах.

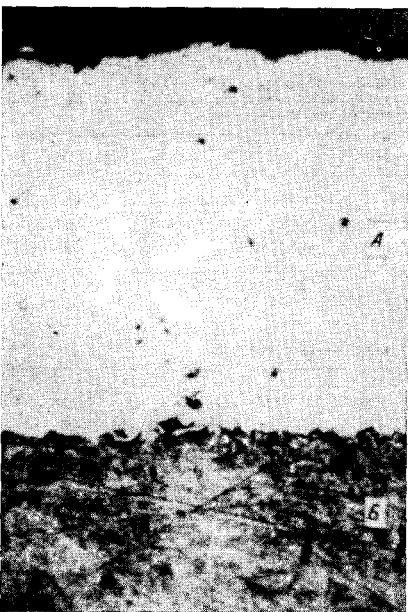
Лит.: Перельман Ф. М., Зворыкин А. Я. Молибден и вольфрам. М., 1968; Мохосоев М. В. Химия редких металлов, ч. 1. Донецк, 1971; Зеликман А. Н., Меерсон Г. А. Металлургия редких металлов. М.,

1973; Майер А. А., Провоторов М. В., Балашов В. А. Система двойных молибдатов и вольфраматов редкоземельных и щелочных элементов. «Успехи химии», 1973, т. 42, в. 10; Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie, System Nr. 54. Berlin, 1969.

[А. М. Голуб, В. И. Максим.]

ВОЛЬФРАМИРОВАНИЕ — диффузионное насыщение поверхностного слоя металлических изделий *вольфрамом* или нанесение покрытий из чистого вольфрама на металлические и неметаллические изделия. Диффузионное В. обычно осуществляют газо- или жидкофазным способом (см. *Диффузионные покрытия, Газофазные покрытия*). При газофазном способе (способе порошков) в насыщающей смеси содержатся *вольфрамовые порошки* (или порошки ферровольфрама), порошки инертного наполнителя (Al_2O_3 , ZnO_2 и др.) и галоидного активатора (NH_4Cl , NaF и др.). Насыщение проводят в печах, где размещены герметичные контейнеры с плавким затвором (в воздушной среде) либо без плавкого затвора (в вакууме или защитной среде). Жидкофазное В. обычно осуществляют электролизом или восстанов-

Микроструктура вольфрамового покрытия (А), полученного детонационным напылением на никелевый сплав (Б), $\times 340$.



лением расплава вольфрамата натрия (Na_2WO_4), продувая через него водород или аммиак, либо вводя твердый восстановитель (напр., силикокальций). Диффузионное В. проводят при t -ре 1000—1300° С в течение 6—24 ч. Толщина, хим. и фазовый состав диффузионного слоя зависят от природы материала основы и режима насыщения. При В., напр., стальных изделий в зависимости от хим. состава стали и параметров процесса в диффузионной зоне образуются карбид W_2C , вольфрамыды FeW и Fe_7W_6 , а также *твердый раствор* вольфрама в альфа-железе. Диффузионное В., как правило, является промежуточной операцией *химико-термической обработки*, предшествующей, напр., *цементации, борированию, силицированию*. Покрытия из чистого вольфрама наносят напылением (*плазменные покрытия, детонационные покрытия*), хим. осаждением из газовой фазы, а также вакуумным испарением. Плазменное напыление вольфрамовых покрытий проводят в герметичной камере с защитным инертным газом. Чистота, *плотность* и прочность сцепления металла покрытия с материалом основы и др. св-ва зависят от электр. мощности плазменной горелки и расхода плазмообразующего газа, дистанции напыления, расхода напыляемого порошка, его *гранулометрического состава* и др. При оптимальных условиях напыления плотность покрытий не превышает 90—92% от теоретической плотности вольфрама. Для повышения плотности (до 95—96%) и улучшения всех остальных св-в покрытий прибегают к термообработке изделий при t -ре 1500—2500° С в водородной среде или в вакууме в течение 5—15 ч. Детонационным способом получают вольфрамовые покрытия с плотностью 97—99% от теоретической плотности вольфрама и прочностью сцепления в полтора-два раза выше, чем у плазменных (рис.). Осаждение вольфрамовых покрытий из газовой фазы осуществляют обычно восстановлением фторида WF_6 или хлорида WCl_6 водородом при t -ре 600—

1200° С. Используют также диссоциацию хим. соединений WCl_6 , WBr_6 или $W(CO)_6$ при т-ре обычно выше 1000° С. Осаждением из газовой фазы можно получать поли- и монокристаллические покрытия с определенной кристаллографической ориентацией. Структура, чистота, толщина и др. св-ва покрытий определяются режимами осаждения. При напылении или хим. осаждении покрытий вольфрама на удаляемые формозадающие оправки из графита, меди, стали и др. можно получать т. н. корковые изделия различной формы и назначения: сошла, втулки, трубки с любой формой сечения и т. д. Плотность этих изделий повышают последующей термообработкой при высоких т-рах. Покрытия из чистого вольфрама используют в электро- и радиотехнике, атомной энергетике, хим. промышленности, электронике, ракетной технике.

Лит.: Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М., 1965; Получение покрытий высокотемпературным распылением. М., 1973; Осаждение из газовой фазы. Пер. с англ. М., 1970. А. П. Эпик.

ВОЛЬФРАМОВАЯ СТАЛЬ — сталь, где основным легирующим элементом является *вольфрам*. Применя-

ется с начала 20 в. Различают В. с., легированную только вольфрамом, и сложнолегированную В. с., в которую, помимо вольфрама, добавляют хром, никель, марганец и др. элементы. В стали вольфрам находится частично в *твердом растворе* и образует стойкие труднорастворимые *карбиды*, вследствие чего уменьшается ее склонность к росту зерна при нагреве до высоких т-р и необратимой отпускной *хрупкости*, повышаются *прокаливаемость* и, следовательно, *прочность* и вязкость. Во многих В. с., легированных хромом, образуются метастабильные карбиды типа $(W, Cr, Fe)_{23}C_6$, легко растворяющиеся при нагреве, что значительно понижает критическую скорость *закалки*, улучшает прокаливаемость. В. с. выплавляют в электрических (индукционных) печах, в которых хорошее электродинамическое перемешивание стали обеспечивает полное растворение вольфрама. Сложнолегированные В. с. используют в качестве *конструкционных сталей*, *инструментальных сталей*, а также сталей с особыми физ. и хим. св-вами, напр. *жаропрочных сталей*. Конструкционные В. с. (табл. 1) характеризуются малой склонностью к перегреву (см. *Перегрев металла*), мелкозернистостью, повышенной прочностью

Таблица 1. Химический состав конструкционных вольфрамовых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W
18X2H4BA	0,14—0,20	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4,00—4,40	0,80—1,20
15XНГ2ВА	0,12—0,18	0,17—0,37	1,80—2,20	1,45—1,45	1,00—1,30	0,80—1,20
38XНЗВА	0,34—0,42	0,17—0,37	0,25—0,55	0,80—1,20	2,75—3,15	0,50—0,80

Примечание: Стали содержат $\leq 0,025\%$ S, $\leq 0,025\%$ P, $\leq 0,20\%$ Cu.

Таблица 2. Свойства конструкционных вольфрамовых сталей

Марка стали	t_3 , °C	t_0 , °C	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	σ_H , кгс/мм ² × м/см ²
18X2H4BA	900	200	115	85	10	40	9,0
15XНГ2ВА	880	200	138	132	14	64	13,0
38XНЗВА	850	590	110	100	12	50	8,0

Примечание: Ударная вязкость определена при т-ре 20° С.

пластичностью, они не склонны к отпускной хрупкости. Мех. св-ва этих сталей улучшают закалкой и высокотемпературным *отпуском* (табл. 2).

Из конструкционных В. с. марок 18Х2Н4ВА и 15ХНГ2ВА (используют также в цементованном состоянии) изготавливают коленчатые валы, зубчатые колеса и др. детали машин, эксплуатируемые при больших скоростях, ударных нагрузках и вибрации, из стали марки 38ХНЗВА — диски роторов, детали компрессоров и редукторов, эксплуатируемые при т-ре до 400° С. Сталь, из к-рой изготавливают тяжело нагруженные детали, напр. коленчатые валы, наряду с вольфрамом легируют молибденом. Инструментальные стали перлитного класса отличаются *износостойкостью*. Деформация инструмента из этой стали при закалке уменьшается. Инструментальные стали карбидного класса (см. *Быстрорежущая сталь*) характеризуются повышенной *теплостойкостью* вследствие образования вторичного высоколегированного *мартенсита* с высокой *твердостью* и стабильностью, а также выпадения высокопрочных дисперсных карбидов. Заготовки инструментальных В. с. перед мех. обработкой отжигают на зернистый *перлит* при т-ре 780—800° С для смягчения и лучшей обрабатываемости. Инструментальные В. с. марок ХВСГ и ХВ4 подвергают

закалке от т-ры 820—840° С в подогретом до т-ры 60—80° С масле и отпуску при т-ре 160—180° С. Твердость стали после такой термообработки 66—67 HRC. Из инструментальных В. с. изготавливают режущий инструмент, штампы и валки для холодной и горячей прокатки. Жаропрочные стали мартенситного и аустенитного классов, легированные вольфрамом (табл. 3, 4), применяются для изготовления труб паропроводов, дисков и лопаток турбин. Термообработка этих сталей состоит из закалки в воде от т-ры 1000—1150° С и последующего отпуска или старения (см. *Старение металлов*) при т-ре 600—800° С в течение 2—3 ч. Марки, хим. состав и мех. св-ва конструкционной В. с. приведены в ГОСТе 4543—61.

Лит.: Геллер В. А. Инструментальные стали. М., 1968; Химия и технология молибдена и вольфрама, в. 1. Нальчик, 1971; Гудремон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966.

В. И. Лизунов, [И. В. Паусов.]

ВОЛЬФРАМОВЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы *вольфрама* различной формы. Пром. произ-во В. п. началось в США и Германии в 1910. Осн. способ произ-ва — восстановление трехоксида вольфрама водородом. Некоторые В. п. получают восстановлением вольфрама из его трехоксида сажей или восстановле-

Таблица 3. Химический состав жаропрочных вольфрамовых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V
1Х12Н2ВМФ	0,10—0,16	≤0,60	≤0,60	10,5—12,0	1,50—1,80	0,35—0,50	1,6—2,0	0,13—0,30
1Х11В2МФ	0,10—0,15	≤0,50	0,50—0,80	10,0—12,0	≤0,60	0,60—0,90	1,7—2,2	0,15—0,30

Примечание: Во всех сталях содержится ≤ 0,010% S, ≤ 0,015% P.

Таблица 4. Свойства жаропрочных вольфрамовых сталей

Марка стали	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	σ_H , кгс·м/см ²
1Х12Н2ВМФ	90	75	12	50	7,0
1Х11В2МФ	60	40	18	—	4,0

нием из галогенидов вольфрама водородом. Процесс восстановления трехоксида вольфрама водородом ведут преим. в две стадии: $WO_3 + H_2 \rightleftharpoons WO_2 + H_2O$ и $WO_2 + 2H_2 \rightleftharpoons W + 2H_2O$. Первая стадия протекает в интервале т-р 550—670° С, вторая — в интервале т-р 700—800° С. Восстановление осуществляют в многотрубных электр. печах, перемещая лодочки с окислами вдоль труб, или в барабанных печах вращающегося типа. Двухстадийный процесс обеспечивает более высокую производительность печей, чем одностадийный, однако связан с дополнительными операциями загрузки и выгрузки порошка. Применяя в производстве осушенный водород и используя высокую скорость его потока, получают тонкодисперсный порошок с размером частиц до 5 мкм и насыпной массой 2,2—2,5 г/см³. Более крупнозернистый порошок (6—10 мкм) образуется при восстановлении трехоксида вольфрама в печах с керамическими (алундовыми) муфелями в интервале т-р 1100—1200° С. В. п. (табл.), полученные восстановлением, обычно содержат 0,1—0,5% O₂. Содержание в них металлических примесей зависит в основном от чистоты исходного сырья. Восстановление трехоксида вольфрама сажей проводят в графито-трубчатых печах сопротивления в интервале т-р 1400—1500° С; образующиеся в них слегка спекшиеся блоки измельчают в шаровых мельницах. При оптимальной выдержке шихты в печи содержание углерода в порошках не превышает 0,5%. Высшие галогениды вольфрама (WCl₆, WF₆), используемые в производстве порошка, представляют собой летучие соединения, легко очищае-

мые перегонкой или ректификацией. При восстановлении их паров водородом в газовом потоке образуются тонкодисперсные порошки со ср. размером зерен 1—1,4 мкм. Другой вариант — восстановление галогенидов вольфрама в кипящем слое; в этом случае получают порошки сферической формы, высокой чистоты, размер их зерен — 200—500 мкм. В. п., полученные восстановлением трехоксида вольфрама водородом, используют для изготовления штабиков вольфрама, а также карбида вольфрама. Кроме того, для производства карбида вольфрама применяют В. п., полученный восстановлением трехоксида вольфрама сажей. Из сферических порошков методом горячего газового изостатического прессования изготавливают плотные заготовки повышенной прочности, превращаемые затем в изделия.

Лит.: Зеликман А. Н., Меерсон Г. А. *Металлургия редких металлов*. М., 1973; Смителс К. Дж. *Вольфрам*. Пер. с англ. М., 1958; Агте К., Вацек И. *Вольфрам и молибден*. Пер. с чеш. М., 1964.

А. Н. Зеликман.

ВОЛЮМОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (от лат. *volumen* — объем и греч. *μετρέω* — измеряю) — анализ физических и физико-химических св-в материалов (преим. твердых), основанный на измерении их удельного объема или *плотности*. При В. а. используют зависимость удельного объема (плотности) материалов от их хим. и фазового состава, наличия несовершенств кристаллического строения. Различают методы В. а. пикнометрический, гидростатический (метод гидростатического взвешивания), флотационный и дилатометрический (см. *Дилатометрический анализ*). Пикнометрический метод В. а. основан на определении объема жидкости, вытесненной из спец. сосуда (пикнометра) при погружении в

Химический состав вольфрамовых порошков

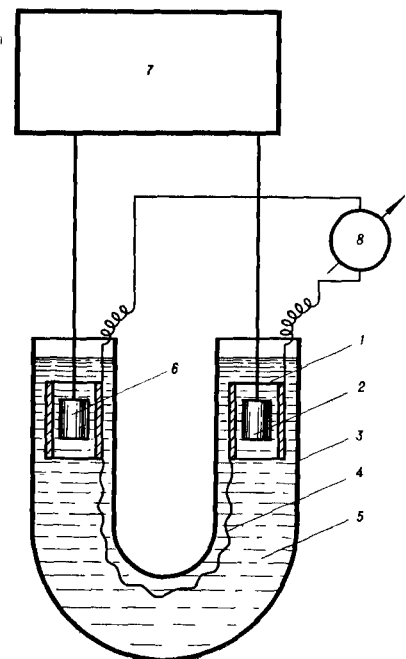
Марка порошка	Содержание элементов, %, не более									
	W	Fe	Al	Si	Ca	Ni	P	S	As	Mo
ПВН	Основа	0,008	0,001	0,003	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,04
ПВВ	»	0,002	0,001	0,002	0,002	0,005	0,004	0,004	0,003	0,01
ПВТ	»	0,02	0,01	0,005	0,005	0,008	0,005	0,004	0,005	0,3

него образца исследуемого материала. По этому методу последовательно взвешивают пикнометр с рабочей жидкостью (напр., водой); исследуемый образец материала на воздухе; пикнометр с образцом материала и рабочей жидкостью, наполняющей сосуд до того же уровня, что и при первом взвешивании. Удельный объем образца материала вычисляют по формуле

$$v = \frac{Q_{\text{ж}} + P_{\text{в}} - Q_{\text{жк}}}{P_{\text{в}}} \cdot \frac{1}{\rho},$$

где v — удельный объем образца материала; $Q_{\text{ж}}$ — масса пикнометра с рабочей жидкостью; $P_{\text{в}}$ — масса образца материала на воздухе; $Q_{\text{жк}}$ — масса пикнометра с рабочей жидкостью и образцом материала; ρ —

Схема установки (без термостата) для дифференциального гидростатического взвешивания, применяемого при волюмометрическом анализе: 1 — медный цилиндр; 2 — исследуемый образец материала; 3 — металлический сосуд; 4 — константановая проволока термоэлемента; 5 — рабочая жидкость; 6 — эталонный образец; 7 — весы; 8 — гальванометр.



плотность рабочей жидкости. Недостаток метода — сравнительно невысокая точность измерения, не превышающая 0,1% даже при термостатировании пикнометра и образца материала. Большей точностью измерения (до 0,01%) отличается гидростатический метод В. а. (метод гидростатического взвешивания), по которому массу образца материала, подвешенного к рычагу весов на тонкой вольфрамовой или платиновой нити, определяют дважды: на воздухе и в рабочей жидкости (напр., диэтилфталате, тетрабромэтаноле) известной плотности. Осн. требования к рабочей жидкости: высокая степень чистоты, большая плотность, хорошая смачивающая способность. Удельный объем образца материала определяют по формуле

$$v = \frac{P_{\text{в}} - P_{\text{ж}}}{P_{\text{в}} \rho},$$

где v — удельный объем образца материала, $P_{\text{в}}$ — масса образца материала на воздухе; $P_{\text{ж}}$ — масса образца материала в рабочей жидкости; ρ — плотность рабочей жидкости. Для изучения дефектов кристаллического строения твердых тел применяют метод дифференциального гидростатического взвешивания (рис.), определяя изменение объема исследуемого образца материала (напр., в результате термообработки) по отношению к эталонному, к-рым может служить образец того же материала, но без дефектов. Уравновесив на воздухе исследуемый образец материала и эталонный образец, изменение объема находят по формуле

$$\frac{\Delta V}{V^{\text{в}}} = \frac{(P_{\text{ж}}^{\text{э}} - P_{\text{ж}}^{\text{о}}) (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{в}})}{(P_{\text{в}}^{\text{э}} - P_{\text{ж}}^{\text{э}}) \rho_{\text{ж}}},$$

где ΔV — разность между объемами образца материала и эталонного образца; $V^{\text{в}}$ — объем эталонного образца; $P_{\text{ж}}^{\text{э}}$ и $P_{\text{в}}^{\text{э}}$ — масса эталонного образца в рабочей жидкости и на воздухе; $P_{\text{ж}}^{\text{о}}$ — масса образца

материала в рабочей жидкости; $\rho_{ж}$ и $\rho_{в}$ — плотность рабочей жидкости и воздуха. При использовании прецизионных весов (10^{-5} г), выполнении требований к рабочей жидкости и тщательном термостатировании рабочей жидкости, образца материала и эталонного образца точность метода дифференциального гидростатического взвешивания достигает 0,001%. Эту точность повышают на один порядок введением в расчетную формулу поправки на незначительную разность t -р между исследуемым образцом материала и эталонным образцом в термостате. Недостаток гидростатического метода В. а. — трудность получения точного значения плотности рабочей жидкости, зависящей от содержания примесей и t -ры. По флотационному методу В. а., изменяя плотность рабочей жидкости (регулированием ее t -ры и состава), добиваются всплывания помещенного в нее образца материала. Удельный объем рассчитывают по t -ре рабочей жидкости или по высоте, на к-рую всплывает образец. Точность определения этим методом достаточно велика — 0,01—0,001%, но он непригоден для исследования материалов с плотностью выше 4 г/см^3 , т. е. большей плотности используемой рабочей жидкости. Кроме определения удельного объема и изучения дефектов кристаллического строения, В. а. применяют для определения температурного коэфф. линейного расширения, для исследования полиморфных превращений (см. *Полиморфизм*), процессов, происходящих при термической обработке и пластическом деформировании металлов и сплавов, для количественного фазового анализа гетерогенных сплавов (см. *Гетерогенная структура*). В аналитической химии волюмометрическим иногда называют газовый объемный анализ.

Лит.: Епанчинцев О. Г., Чистяков Ю. Д. Исследование степени совершенства кристаллической структуры методом гидростатического взвешивания. «Заводская лаборатория», 1967, № 5; Черепин В. Т. Экспериментальная техника в физическом металловедении. К., 1968.

В. Г. Гаврилюк.

ВОРОНЕНИЕ — создание окисной пленки (от черного до темно-синего цвета различных оттенков) на поверхности изделий из углеродистой или низколегированной стали и чугуна; разновидность оксидирования. Структура, внешний вид и защитные св-ва окисных пленок, гл. обр. из магн. окиси железа, обуславливаются их толщиной. Тонкие пленки (порядка 0,002—0,004 мкм) не меняют внешнего вида поверхности и практически не защищают (из-за пористости) изделия от коррозии металлов. Толстые (более 2,5 мкм) матовые пленки черного или серовато-черного цвета механически непрочны. Ввиду этого при В. создают условия, обеспечивающие формирование плотных и блестящих пленок промежуточной толщины — от 0,004 до 2,5 мкм (при оптимальных условиях — менее 1 мкм). Различают В. щелочное, кислотное и термическое. Щелочное В. осуществляют преим. погружением изделий в горячий раствор щелочи (едкого натра) при наличии окислителей — нитрата или нитрита натрия. С повышением концентрации щелочи увеличивается толщина пленки и повышается t -ра кипения раствора. В сильно концентрированном растворе щелочи, кипящем при t -ре выше 175°C , окисная пленка на изделии из-за быстрого растворения не образуется. Оптимальной для В. является t -ра кипения раствора 140 — 145°C , соответствующая концентрации 800—900 г/л щелочи; при этих условиях образуется пленка толщиной 0,6—0,8 мкм. С повышением концентрации окислителя утолщение пленки замедляется и одновременно уменьшается потеря железа вследствие растворения. При малом содержании окислителя образуется рыхлая, непрочная пленка. Нитрат натрия придает пленке глубокий черный цвет с матовым оттенком, а нитрит натрия — блестящий сине-вато-черный цвет. В свежеприготовленном растворе образуются декоративные черные пленки. По мере обогащения раствора окисным железом (вследствие растворения поверхностного слоя металла) толщина пленки уменьшается, поэтому в растворе, использовавшемся длительное время, поверхность изделий приобре-

дает лишь буроватые или радужные оттенки (либо совершенно не окрашивается). В такой раствор иногда погружают изделия перед их обработкой в свежем или мало использованном растворе. Поскольку даже при оптимальных условиях В. толщина пленки невелика, исходные поверхностные дефекты достаточно хорошо видны. Их предварительно удаляют шлифованием или полированием. После В. изделия погружают в водный раствор мыла, промывают в горячей воде, сушат и покрывают тонким слоем масляного лака. К и с л о т н о е В. осуществляют в растворе, содержащем 40—50 г/л нитрата бария и 3,5 г/л фосфорной кислоты, при т-ре 98—100° С в течение 20—30 мин. Т е р м и ч е с к о е В. заключается в нагреве изделий в муфелях, ретортах или инертных средах с малым доступом воздуха при т-ре 250—350° С в течение нескольких минут и в среде перегретого водяного пара при т-ре 200—500° С. В. применяют для декоративной отделки и защиты от коррозии изделий с малыми размерными допусками (приборных деталей, пружин, инструментов и т. п.).

Лит.: Лайнер В. И., Кудрявцев Н. Т. Основы гальваностегии, ч. 2. М., 1957; Вайнер Я. В., Дасоян М. А. Технология электрохимических покрытий. М.—Л., 1962; Бахвалов Г. Т. Защита металлов от коррозии. М., 1964. В. И. Лайнер.

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ, возгорание — возникновение горения, т. е. самоускоряющегося хим. превращения, сопровождающегося интенсивным выделением тепла и в большинстве случаев появлением пламени.

Обуславливается взаимодействием большинства металлов и их соединений, кремния, серы элементарной и связанной (колчедана) и др. неорганических материалов с окислителями, а некоторых металлов — с галогенами. Материалы воспламеняются также в результате др. экзотермических процессов, напр. при взаимодействии некоторых металлов с азотом (с образованием *нитридов*) и с углеродсодержащими газами (с образованием *карбидов*). Ускорение хим. превращения, приводящее к воспламенению, происходит гл. обр. при разогреве реагирующих веществ теплотой реакции (*тепловое воспламенение*); при этом первоначально хим. система разогревается либо вследствие притока тепла извне, либо (при В. пирогорных металлов, см. *Пирогорность*) в результате выделения тепла в самой системе. Повышение т-ры может привести к тому, что выделение тепла превысит его отвод, в результате чего стационарное течение реакции станет невозможным; начнется лавинообразный саморазгон реакции с очень быстрым возрастанием т-ры, т. е. произойдет воспламенение. Понимается, что при этом обеспечен контакт материала с окислителем (напр., созданием газовзвеси, содержащей частицы твердого материала; подводом окислителя к порошок материала; перемешиванием порошка материала с окислителем); материал может быть также в виде

Температура воспламенения порошков металлов

Металл	Размер частиц, мкм	Температура, °С			
		самовоспламенения		зажигания	
		порошка в слое	аэрозвеси	порошка в слое	аэрозвеси
Кремний	$d < 74$	790	—	—	770
Титан гидриднокальциевый	$\delta = 43$	610	480	450	—
Магний	$\delta = 53$	510	350	320	—
Алюминий (99%)	$\delta = 9$	320	680	220	670
Железо восстановленное (98,5%)	$\delta = 35$	220	310	300	300
Цирконий	$d = 3$	190	20	180	—

Примечание: d и δ — соответственно средний квадратичный и медианный диаметры.

брикетов, тонких полос и т. п. Различают два вида В.: самовоспламенение и вынужденное воспламенение — зажигание. При самовоспламенении реакция ускоряется во всем объеме системы; смесь нагревается либо от горячей стенки, либо в процессе быстрого перемешивания ранее нагретых компонентов смеси, либо при ее быстром сжатии с фиксацией начальной т-ры, при к-рой происходит воспламенение, — т-ры самовоспламенения. При за ж и г а н и и условия для В. создаются лишь в очень ограниченном объеме смеси с помощью какого-либо источника тепла: нагретого тела, электр. искры, пламени и др. Вблизи такого источника возникает пламя, распространяющееся на весь объем системы. В этом случае экспериментально фиксируют миним. т-ру источника тепла, вызывающего воспламенение, — т-ру зажигания. Т-ры самовоспламенения и зажигания (табл.) не являются константами вещества, а зависят от условий опыта. В. титана характеризуют также критическим давлением, равным для его пром. сплавов (в сплошном теле) $7 \div 15 \text{ кгс/см}^2$. В. учитывают при использовании тех или иных металлов (в частности, *металлического топлива*), при разработке мер по пожаро- и взрывобезопасности. В. исследуют в основном термографическим методом (рис.). При испытаниях газовзвесей сам факт В. определяют, наблюдая за поведением облака частиц (с помощью фото- и киноаппаратов), а во взрывных камерах, кроме того, фиксированием диаграмм давления.

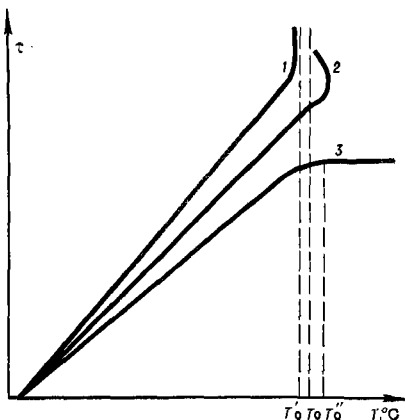
Лит.: Семенов Н. Н. Развитие теории цепных реакций и теплового воспламенения. М., 1969; Мерзанов А. Г. Неизотермические методы в химической кинетике. «Физика горения и взрыва», 1973, № 1; Предупреждение внезапных воспламенений порошков и взрывов газодисперсных систем. К., 1975; Jacobson M., Cooper A. R., Nagy J. Explosibility of metal powders. Washington, 1964.

О. Д. Нейкова.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ — придание материалам первоначально присущих им физико-механических св-в, к-рые существенно изменились в процессе

обработки или эксплуатации. Для неорганических материалов наиболее важным является изменение св-в, связанное с образованием и накоплением микроскопических и макроскопических дефектов кристаллической структуры (см. *Дефекты в кристаллах*). С этой точки зрения В. с. м. сводится к восстановлению их структуры в первоначальном виде. Для металлов существенное значение имеет механизм восстановления структуры, искаженной пластическим деформированием, и, наряду с этим, механизм восстановления их физико-мех. свойств — процесс термически активированный, поскольку для его осуществления необходим *нагрев металла*. Дефекты кристаллической структуры, вызывающие явления, аналогичные мех. *наклепу* (см. также *Деформационное упрочнение*), могут накапливаться в металлах и под действием проникающего жесткого излучения, термоциклирования (повторяющихся циклов переменного термического воздействия), знакопеременной нагрузки. Во всех этих случаях термическое В. с. м. может быть интерпретировано как совокупность процессов возврата (см. *Возврат кри-*

Термограмма разогрева порошка в печи: 1 — температура стенки печи T'_0 ниже температуры самовоспламенения порошка в слое; 2 — температура стенки печи T_0 равна температуре самовоспламенения порошка в слое; 3 — температура стенки печи T''_0 выше температуры самовоспламенения порошка в слое (τ — время, сек).



аллов) и рекристаллизация. Процесс возврата охватывает все изменения, происходящие в искаженной структуре, за исключением тех, которые связаны с перемещением высокоугловых границ зерен (кристаллитов). При возврате происходит полное восстановление удельного электрического сопротивления, модуля упругости и др. физ. св-в материалов. Однако мех. св-ва многих металлов и сплавов с кубической решеткой, характеризующихся малым значением энергии дефектов упаковки, при возврате практически не меняются; у др. металлов и сплавов происходит частичное восстановление этих св-в. Мех. св-ва восстанавливаются полностью только после рекристаллизации, что связано с переориентацией каждого участка структуры искаженного материала, происходящей из-за перемещения высокоугловых границ зерен. Возврат и рекристаллизация — процессы, термодинамически выгодные при любой т-ре, поэтому понятие т-ры (порога) возврата и рекристаллизации не имеет четкого физ. смысла и оправдано лишь как условная техническая характеристика металлов и сплавов. Кинетика изменения св-в при изотермическом возврате характеризуется монотонным уменьшением скорости процесса. Кинетика рекристаллизации отличается значительным инкубационным периодом, а зависимость скорости процесса от времени имеет четко выраженный максимум. При возврате и рекристаллизации происходит заживление точечных дефектов (вакансий, междоузельных атомов), уменьшается плотность и происходит перегруппировка дислокаций, спрямляются границы зерен и уменьшается протяженность этих границ. При интенсивных мех. и термических воздействиях в материалах могут образовываться и накапливаться макроскопические дефекты типа трещин, щелей и пор. Их развитие приводит в конечном счете к разрушению материала. Однако на ранних стадиях образования макродефекты могут заживляться диффузионным путем при соответствующей термической обработке. При этом также происходит частичное или полное В. с. м. Условием полного за-

живания макродефектов является сохранение чистой ювенильной поверхности и отсутствие в полости дефектов газов, не растворимых в металле. В этом смысле начальные стадии разрушения металлов могут рассматриваться как обратимый процесс. При поверхностных хим. реакциях или хемосорбции активных газов образование макродефектов носит необратимый характер, и во время отжига восстановления мех. св-в материала не происходит. По механизму и кинетике заживления макроскопических дефектов в поликристаллических материалах аналогично спеканию, т. е. процессу окускования (консолидации) мелкозернистых и порошковых материалов. Если первоначальная структура материала неравновесна (вследствие наличия в ней пересыщенных твердых растворов, неравновесных фаз, искажений, высокодисперсных включений и т. п.), то в процессе эксплуатации при повышенных т-рах происходит ее стабилизация, в результате к-рой материал утрачивает прочность, упругость и твердость. В этом случае для восстановления мех. св-в необходимо восстановить первоначальную неравновесную структуру, что может быть достигнуто различными методами термической и термомеханической обработки, воздействием высокоамплитудных ультразвуковых колебаний, а восстановление св-в поверхностных слоев материала, кроме того, — поверхностным упрочнением и химико-термической обработкой.

Лит.: Гегузин Я. Е. Макроскопические дефекты в металлах. М., 1962; Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. Пер. с англ. М., 1962; Мак Лин Д. Механические свойства металлов. Пер. с англ. М., 1965; Физическое материаловедение, в. 3. Пер. с англ. М., 1968.

В. В. Скороход.

ВСПУЧИВАЕМОСТЬ — 1) Вспучиваемость минералов — свойство минералов резко увеличиваться в объеме при быстром нагреве или химических реакциях. Характерна для вермикулита, гидробиотита, гидрофлогопита (см. Флогопит), в меньшей степени — для нек-рых монтмориллонитов и др. минералов из группы слоистых

алюмосиликатов (см. *Силикаты*), между структурными слоями к-рых находится слой из обменных катионов (магния в вермикулите, кальция и натрия в монтмориллоните). Каждый катион окружен гидратной оболочкой. Разрушение катион-гидратного комплекса при нагреве, воздействии перекиси водорода или обработке методом электродиализа вызывает вспучивание—разбухание в направлении, перпендикулярном направлению совершенной спайности минералов. Вспучивание при нагреве сопровождается уменьшением межплоскостных расстояний в минерале (напр., в вермикулите $14,4 \rightarrow 13,8 \rightarrow 11,8 \rightarrow 10,5 \rightarrow 9,9 \rightarrow 9,2 \text{ \AA}$); при термическом анализе вызывает эндозффекты, соответствующие ступеням дегидратации (см. *Гидратация*) минералов в процессе постепенного возрастания т-ры и отражающиеся на кривых нагрева. Вспучивание слоистых алюмосиликатов связано с резким (взрывным) увеличением давления водяного пара на поверхность спайных пластинок, чего нет при небольшой скорости нагрева, когда постепенное разрушение каждого из слоев гидратной оболочки не влияет на изменение объема. При быстром нагреве в области т-р $300\text{—}550^\circ \text{C}$ в процессе разбухания участвуют оба гидратных слоя. Вспучивание связано также с отталкиванием отрицательно заряженных структурных слоев, претерпевших дегидратацию: нарушается хим. связь кислорода тетраэдрических слоев с водой. Вспучивание позволяет получать после обжига легкие слоистоподобные материалы (табл.) с высокими (из-за наличия внутризеренных пор) тепло- и звукоизоляционными св-вами и поглощающей способностью.

Насыпную объемную массу и теплоизоляционные св-ва минералов улучшают выбором оптимального режима нагрева (недостаточный нагрев вызывает неполное разбухание, перегрев — усадку и утяжеление вспученного материала), а также подбором конструкций печей в зависимости от вида сырья (с переходом от вер-

микулита к гидробиотиту и гидрофлогопиту В. м. ухудшается и нужно точнее определять т-ру вспучивания). Нагрев вермикулитов и гидробиотитов до появления на рентгенограммах фазы $9,9 \text{ \AA}$ может сопровождаться регидратацией и восстановлением структуры. Технический обжиг при образовании «тал-

коподобной» фазы $9,2 \text{ \AA}$ соответствует необратимым изменениям структуры.

Лит.: Перлит и вермикулит. М., 1962; Бейтс Р. Л. Геология неметаллических полезных ископаемых. Пер. с англ. М., 1965. Б. Г. Яковлев.

2) Вспучиваемость горных пород — свойство некоторых глин, глинистых сланцев и водосодержащих кислых вулканических стекол резко увеличиваться в объеме при нагреве. В результате обжига глинистых пород (т-ра $1000\text{—}1200^\circ \text{C}$) образуется пористый материал *керамзит*, насыпная масса к-рого составляет $250\text{—}500 \text{ кг/м}^3$ для легких и $600\text{—}800 \text{ кг/м}^3$ для тяжелых конструктивных бетонов. Прокаливание водосодержащих кислых вулканических стекол (т-ра $800\text{—}1100^\circ \text{C}$) позволяет получить вспученный *перлит*, средняя насыпная объемная масса к-рого от $100\text{—}150$ до 250 кг/м^3 . Осн. технологическими факторами, определяющими строение и микроструктурные особенности керамзита, являются скорость введения сыр-

Характеристики вспученных минералов

Минерал	Температура обжига, $^\circ \text{C}$	Насыпная объемная масса, кг/м^3	Коэффициент теплопроводности, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$
Вермикулит ковдорский	800	85—120	0,050—0,055
Гидрофлогопит ковдорский	1100	114—180	0,070—0,072
Вермикулит потанийский	800	135—170	0,055—0,065
Вермикулит приднепровский	700	165—224	0,050—0,061
Гидробиотит каменногильский (УССР)	700	190—300	0,058—0,066

рых гранул глины с различным хим. составом в область высоких т-р и время нахождения гранул в этих условиях. Значительный перепад т-ры между наружной и внутренней зонами обжигаемого материала приводит к нек-рой разновременности структурно-фазовых изменений в той и другой зоне, что обуславливает опережение спекания материала в периферической зоне гранулы сыра по сравнению с внутренней, где сохраняется легкоплавкий силикатный расплав. Этот расплав содержит большое количество газообразной фазы, состоящей из мелких пузырьков водяных паров, выделяющихся из глинистых минералов, а также из окиси и двуокиси углерода, метана, водорода, окиси серы. Под усиливающимся давлением этих паров и газов материал расширяется и вспучивается, образуя легковесный поризованный керамзитовый *гравий* или *щебень*.

Сущность вспучивания вулканических пород (перлита, *обсидиана*, пехштейна) заключается в том, что содержащаяся в горной массе вода быстро испаряется в то время, когда материал находится в пластическом состоянии. При медленном нагреве вода удаляется без вспучивания, слишком быстрый нагрев вулканических стекол вызывает растрескивание и раздробление породы. Вследствие этого техническая задача вспучивания вулканических стекол состоит в том, чтобы сблизить моменты размягчения массы и интенсивного газообразования. Керамзит и вспученный перлит, отличающиеся высокими тепло- и звукоизоляционными св-вами, используют для изготовления строительных конструкций и теплоизолирующих оболочек. Технологические качества керамзитов улучшают введением органических и железосодержащих добавок, а качества вспученного перлита — подбором конструкции печи и режима термической обработки в зависимости от состава исходных стекол.

Г. И. Туркевич, Б. Г. Яковлев.

ВУДА СПЛАВ [по имени амер. химика Б. Вуда (B. Wood)] — легкоплавкий сплав на основе *висмута*. Содержит 50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn и 12,5% Cd. Кристаллизуется в интервале т-р 75—69° С. См. также *Легкоплавкие сплавы*.

ВЫНОСЛИВОСТЬ МАТЕРИАЛОВ — свойство материалов сопротивляться усталостному разрушению. Характеризуется числом циклов до возникновения макротрещины или до полного разрушения при действии переменных напряжений с амплитудой (или максимальным напряжением цикла), превышающей предел выносливости. См. *Усталость материалов*.

[С. В. Серенсен.]

ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ ОБРАБОТКА материалов — обработка материалов воздействием высокого статического или импульсного давления. В пром. масштабах используется с 50-х гг. 20 в. Сопровождается обычно обратимыми или необратимыми изменениями электронного строения, кристаллической структуры и св-в материалов. Часто сочетается с магн., температурным или др. воздействием. Обусловлена сжимаемостью, или объемной *упругостью* веществ. Поскольку с повышением давления сжимаемость вещества уменьшается, сужается и полоса значений сжимаемости различных элементов. Так, при давлении 1 бар сжимаемость цезия в 310 раз больше сжимаемости *алмаза*, а при давлении 30 кбар — только в 36 раз. Если давление составляет 100 кбар, изменяется и расположение элементов на кривой сжимаемости — максимумы их сжимаемости смещаются вправо на единицу в атомном номере. При более высоких давлениях (порядка 10 мбар) сжимаемость приближается к монотонной функции от атомного номера. Изменение зависимости сжимаемости от атомного номера связано с перестройкой в электронной структуре атомов, происходящей под воздействием высокого давления.

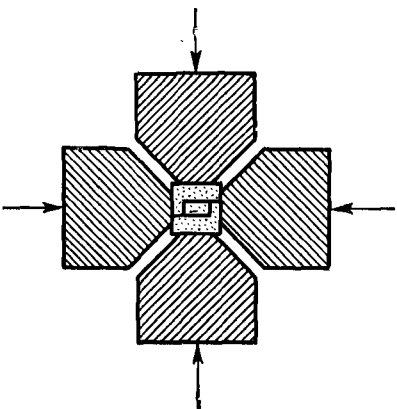
У щелочных, щелочноземельных и переходных металлов под этим воздействием изменяются электрофиз. и структурные характеристики элементов. Так, давление 42,2 кбар превращает цезий в изолятор, а увеличение давления до 42,7 кбар снова делает его проводником. Аналогичные переходы происходят при сжатии никеля соответственно в

5 и 15 раз. Энергетическое возбуждение под давлением в десятки и сотни тысяч бар делокализует внешние электроны *sp*-элементов, в результате чего полупроводники и изоляторы могут стать проводниками. Такие «металлические» переходы наблюдались у алмаза (при давлении 1 *мбар*), кремния (200 *кбар*), германия (125 *кбар*), серы (230 *кбар*), йода (130 *кбар*), а также у InSb (30 *кбар*), GaSb (80 *кбар*), InP (130 *кбар*), InAs (120 *кбар*), AlSb (100 *кбар*), ZnTe (140 *кбар*) и др. полупроводниковых соединений. При достаточно высоком давлении все неметаллические вещества (простые и сложные) могут перейти в металлическое состояние. Так, согласно расчету, для перехода в металлическое состояние водорода необходимо давление 0,8—2,5 *мбар*, гелия — до 30 *мбар*. Образующиеся под воздействием давления металлы часто становятся *сверхпроводящими материалами*. Так, металлическая фаза, образующаяся в селене под давлением 130 *кбар*, переходит в сверхпроводящее состояние при критической *т-ре* 6,8 К. У теллура эта *т-ра* равна 3,3 К (56 *кбар*), у сурьмы 3,5 К (85 *кбар*), у мышьяка 0,25 К (100 *кбар*) и 0,5 К (140 *кбар*). Критическая *т-ра* металлических фаз кремния и германия равна соответственно 6,7 и 5,3 К. Фосфор под давлением 110 *кбар* приобретает кубическую структуру и переходит в сверхпроводящее состояние при *т-ре* 5 К. Висмут под давлением 25 *кбар* переходит в сверхпроводящее состояние при *т-ре* 4 К, и все последующие фазы высокого давления висмута являются сверхпроводниками, причем *т-ра* перехода возрастает с увеличением давления, доходя до 8 К. В сверхпроводящее состояние переходят также церий (50 *кбар*), иттрий (110 *кбар*), барий (59 *кбар*) и углерод (100 *кбар*). Помимо этого, высокое давление повышает *т-ру* перехода в сверхпроводящее состояние многих сверхпроводников. Так, в нормальных условиях критическая *т-ра* лантана равна 5,2 К, при давлении 25 *кбар* — 8 К, а при давлении 40 *кбар* — 9 К. Общая тен-

денция к увеличению критической *т-ры* при возрастании мех. *плотности* позволяет считать В. д. о. перспективным методом синтеза новых сверхпроводников. Таким способом получены кубическая фаза TaN с критической *т-рой* 6,6 К, фаза Nb_3In с критической *т-рой* 9,2 К, фаза Nb_3Si с критической *т-рой* порядка 19 К. В. д. о., уменьшая межатомные расстояния и изменяя электронную структуру атомов, вызывает полиморфные превращения кристаллических структур (см. *Полиморфизм*). Кроме того, иными становятся и фазовые равновесия. С увеличением давления до 65 *кбар* уменьшается, напр., *растворимость* углерода в *эвтектике* системы железо—углерод, снижается *т-ра* альфа-гамма-превращения и *эвтектичного* распада, происходит стабилизация и, следовательно, расширяется область *гамма-фазы*, сужаются области *альфа-фазы* и *дельта-фазы*. При давлении 20 *кбар* область *дельта-фазы* не существует. Структура элемента в условиях высокого давления совпадает со структурой более тяжелого элемента той же группы периодической системы. Так, фаза высокого давления галлия изоструктурна с индием, углерод приобретает структуру кремния (алмаз), кремний и германий — структуру олова, теллур — структуру полония. Под воздействием давления становится многообразным полиморфизм металлов. В нормальных условиях у всех щелочных металлов объемноцентрированная кубическая структура, а в процессе В. д. о. происходит ее перестройка. Так, у цезия при давлении 24 *кбар* наблюдается переход ($\text{CsI} \rightarrow \text{CsII}$) из объемноцентрированной кубической в *гранецентрированную* кубическую структуру с периодом $a = 5,984 \text{ \AA}$ (41 *кбар*); при давлении 42,2 *кбар* происходит *изоструктурный* переход ($\text{CsII} \rightarrow \text{CsIII}$), в процессе *к-рого* период решетки скачком изменяется до $5,800 \text{ \AA}$ (42,2 *кбар*). Если давление равно 42,7 *кбар*, фиксируется переход $\text{CsIII} \rightarrow \text{CsIV}$ (кристаллическая структура фазы CsIV не определена). Фазы высокого давления обнаружены у бария, титана, циркония, олова, свинца, висмута,

железа, у редкоземельных элементов. При В. д. о. зафиксирован полиморфизм мп. соединений. Изобилует фазами высокого давления диаграмма воды. Известно девять полиморфных модификаций льда. При давлении 1 мбар и т-ре -80°C вода переходит в проводящее состояние — образуется металлический лед. Структура кварца при давлении 80 кбар и т-ре $400-800^{\circ}\text{C}$ переходит в структуру коусита с плотностью $3,01 \text{ г/см}^3$, а при давлении более 160 кбар и высоких т-рах — в структуру стишовита с плотностью $4,35 \text{ г/см}^3$. С помощью В. д. о. получены плотные кристаллические формы углерода и его структурного аналога — нитрида бора. При давлении 50—90 кбар и т-ре $1500-2000^{\circ}\text{C}$ с катализаторами получена кубическая (алмазоподобная) форма нитрида бора (боразон) из его гексагональной (графитоподобной) формы. Помимо кубического нитрида бора со структурой сфалерита получена его форма с гексагональной решеткой типа вюрцита. Если давление превышает 100 кбар, при т-ре около 2000°C гексагональный нитрид бора переходит в сфалеритную форму, при более низкой т-ре образуется его вюрцитная форма. Алмазоподобные формы нитрида бора как по получению, так и по св-вам близки к формам синтетического алмаза (см. так-

Принцип действия кубической установки для создания высокого давления. Расположенный внутри кубик сжимается шестью поршнями (два поршня действуют в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка).



же *Сверхтвердые материалы*). В. д. о. влияет на процессы диффузии, улучшает спекаемость карбидов и нитридов, в значительной мере определяет мех. прочность и пластичность металлов и соединений. При давлении около 100 кбар и т-ре 1400°C твердость карбида ниобия увеличивается на 44%, карбида вольфрама — на 60, а карбида хрома — на 93%. Высокое давление повышает предельную пластичность хрупких, труднодеформируемых материалов. Эффект влияния давления на пластичность зависит от природы и кристаллического строения материала, микроструктуры, наличия примесей. Чем выше исходная пластичность материала, тем ниже пороговое давление. Для отожженного альфа-железа (см. *Железо*) оно составляет 0,6 кбар, для стали (0,84% С) — 1,4, для молибдена — 2,2, для хрома — 3, для литого вольфрама — 7,5 кбар. Давление в основном препятствует распространению уже сформировавшейся трещины разрушения, достигшей некоторого критического значения — «трещины Гриффитса». Кроме того, оно проявляется в формировании особой дислокационной структуры, в к-рой осн. масса дислокаций выстраивается в стенки, образуя ячеистую структуру (эффект барополигонизации). Используя эффект повышения пластичности, деформируют гидроэкструзией (см. *Экструзия*) различные материалы повышенной хрупкости, в т. ч. аустенитные стали, твердые сплавы. Высокие давления создают методом ударных волн (см. *Импульсная обработка материалов*) или статическим методом. Простейшая установка для создания статического давления состоит из цилиндра и движущегося в нем поршня. Усилие сжатия от гидравлического пресса передается через поршень на сжимаемую среду — газ, жидкость или твердое тело. Давление до 30 кбар создают с помощью газа или жидкости. Для более высокого давления (50 кбар) используют твердые материалы (пиррофиллит, хлористое серебро и др. материалы с низким коэфф. трения). Разработана кубическая установка

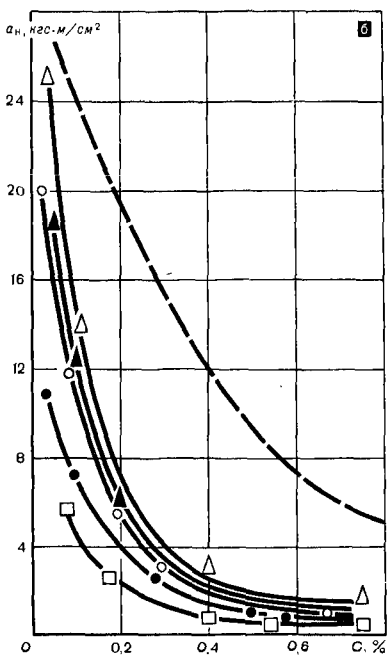
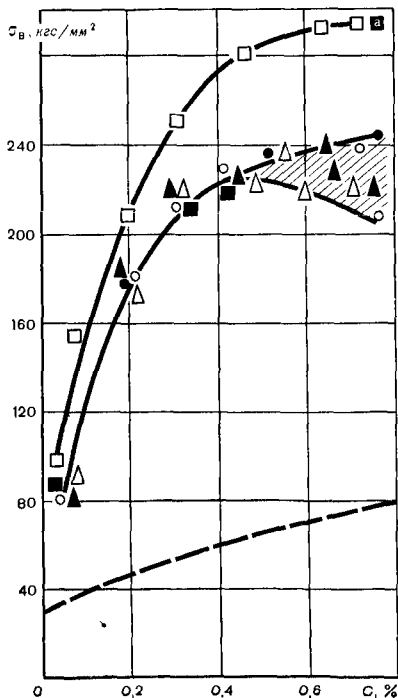
на давление порядка 100 кбар, где все элементы конструкции работают на сжатие, осуществляя взаимную поддержку (рис.). В спец. наковальнях, изготовленных из материала карбонадо, создают давления 1—3 мбар. Давления порядка 1 мбар и выше получают также в многоступенчатых высокопрочных устройствах типа «матрешки», в к-рых использован метод мультипликации. Поведение вещества в условиях высокого давления чаще всего исследуют методами нейтронографического анализа и рентгеновского анализа, измерения электрического сопротивления, дифференциального термического анализа, ядерного магн. резонанса и эффекта Мессбауэра, а также оптическими измерениями. В. д. о. создает условия для получения материалов с исключительным комплексом физ., физико-хим. и мех. свойств.

Лит.: Гоникберг М. Г. Химическое равновесие и скорость реакций при

высоких давлениях. М., 1969; Берснев В. И. (и др.). Пластичность и прочность твердых тел при высоких давлениях. М., 1970; Шиняев А. Я. Фазовые превращения и свойства сплавов при высоком давлении. М., 1973; Попова С. В., Бенделиани Н. А. Высокие давления. М., 1974; Циклис Д. С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях. М., 1976; Бриджмен П. В. Новейшие работы в области высоких давлений. Пер. с англ. М., 1948; Руманс К. Структурные исследования некоторых окислов и других халькогенидов при нормальных и высоких давлениях. Пер. с англ. М., 1969. П. И. Тимофеева.

ВЫСОКОПРОЧНАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся высокой прочностью. Относится к легированным конструкционным сталям с пределом прочности 150 кгс/мм² и выше. Высокопрочное состояние стали — результат упрочнения, причем таким его способом, к-рый в меньшей

Рис. 1. Зависимость прочности (а) и ударной вязкости (б) стали типа Х5М2СФ от содержания углерода: сплошная линия — закалка и отпуск; штриховая линия — отжиг; ▲, △ — высокотемпературная термомеханическая обработка; □ — низкотемпературная термомеханическая обработка; ●, ○ — закалка; зачерненные значки — сталь обычной чистоты; незачерненные значки — сталь высокой чистоты.



тепени приводит к охрупчиванию. Прочность стали повышается вследствие *наклепа, мартенситного превращения, дисперсионного твердения, образования твердых растворов и упорядочения*. В результате наклепа и мартенситного превращения предел прочности может достигнуть 500 кгс/мм^2 , вследствие дисперсионного твердения — 400 кгс/мм^2 , в результате измельчения зерна, образования твердых растворов замещения и упорядочения — до 300 кгс/мм^2 . Однако использование одного способа упрочнения недостаточно эффективно, поскольку (при сильном упрочнении) значительно уменьшается *пластичность*; поэтому В. с. получают комбинированием перечисленных способов упрочнения. Высокопрочное состояние может быть в любой стали, однако технологически добиться этого трудно. В. с. типа Х5М2СФА упрочняется в результате мартенситного превращения. Образующийся при этом *мар-*

тенсит характеризуется мелкоблочным строением (см. *Блоки мозаики*). После отпуска при $t_{\text{ре}} 550^\circ \text{C}$ прочность стали не только не уменьшается (из-за высокого содержания хрома), но даже несколько увеличивается вследствие дисперсионного твердения. При содержании в этой стали 0,3% С и обычной *закалке с отпуском* на максимальную прочность ($t_{\text{ра}}$ около 500°C) предел прочности составляет 200 кгс/мм^2 , предел текучести — 180 кгс/мм^2 , относительное сужение — 30%, *ударная вязкость* — $2 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$, порог хладноломкости T_{50} ($t_{\text{ра}}$, при которой в изломе содержится 50% вязкой составляющей) $\sim 80^\circ \text{C}$. Пластичность и вязкость стали типа Х5М2СФА в этом случае невелики, поэтому изделия из нее обрабатывают на несколько меньшую прочность, достигаемую отпуском при

Таблица 1. Состояние, термическая обработка и свойства высокопрочной стали марки 30Х5М2СФА

Состояние стали	Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	ψ , %	a_H , кгс·м/см ²	Порог хладноломкости T_{50} , °C
Обычной чистоты	Обычная	180	30	2	80
Высокой чистоты	То же	200	30	2,5	40
Обычной чистоты	Высокотемпературная термомеханическая	200	30	2,5	40
Высокой чистоты	То же	200	40	4	20

Таблица 2. Термическая обработка и свойства среднеуглеродистых улучшаемых высокопрочных сталей

Марка стали	Термическая обработка	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	ψ , %	a_H , кгс·м/см ²	a_p , кгс·м/см ²	Порог хладноломкости T_{50} , °C
30Н9К4А	Закалка от $t_{\text{ры}} 790^\circ \text{C}$, отпуск при $t_{\text{ре}} 200^\circ \text{C}$	165	145	60	8	2,5	-110
28Х3СНМВФА	Закалка от $t_{\text{ры}} 950^\circ \text{C}$, отпуск при $t_{\text{ре}} 550^\circ \text{C}$	170	150	50	6	1	+20
Н18К8М3Т	Закалка от $t_{\text{ры}} 950^\circ \text{C}$, старение при $t_{\text{ре}} 480^\circ \text{C}$	165	160	60	9	2	-100
48Х2Н4ВА	Закалка от $t_{\text{ры}} 860^\circ \text{C}$, отпуск при $t_{\text{ре}} 200^\circ \text{C}$	140	120	65	9	4	-110

Примечание: a_p — работа развития трещины.

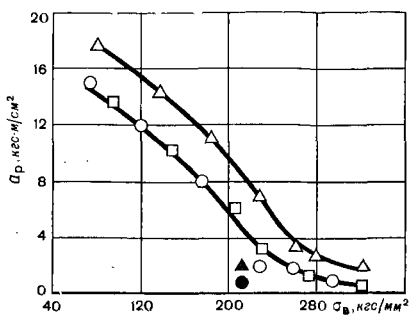
более высокой т-ре (600°C) и снижением содержания углерода ($0,25\%$). У такой стали при прочности 160 кгс/мм^2 предел текучести составляет 150 кгс/мм^2 , относительное сужение — 40% , ударная вязкость — $4\text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$, порог хладноломкости (T_{50}) равен -20°C . Для улучшения св-в сталь марки 30X5M2CФА выплавляют из чистой шихты, подвергают вакуумированию и термомеханической обработке, эффект к-рой заключается в основном в измельчении зерна. Чем чище сталь и мельче зерно, тем лучше вязкие св-ва, что позволяет использовать сталь с пределом текучести 200 кгс/мм^2 (табл. 1). Низкотемпературная термомехан. обработка повышает прочность стали типа X5M2CF (рис. 1, а на с. 224), но снижает пластичность (рис. 1, б). Относительно низкие пластические св-ва стали марки 30X5M2CФА обусловлены высоким порогом хладноломкости и, как следствие, полухрупким разрушением. Понижают порог хладноломкости легированием стали никелем. Если содержание никеля велико, порог хладноломкости наблюдается при низкой т-ре, хрупкое разрушение не происходит, хотя энергоёмкость работы вязкого разрушения (работы развития трещины) уменьшается с увеличением прочности (рис. 2). Работа развития трещины при т-ре 300°C примерно такая же, как при т-ре 20°C для высоконикелевой стали. Поэтому среднеуглеродистая улучшаемая сталь марки 30Н9К4А, содержащая 9% Ni и обработанная на высокую прочность, характеризуется вязким разрушением при комнатной и низкой т-ре. Кобальт, содержащийся в этой стали, повышает т-ру начала мартенситного превращения, уменьшая количество остаточного аустенита, что делает возможным высокотемпературный отпуск. Сталь марки 30Н9К4А прочностью 160 кгс/мм^2 характеризуется такой же вязкостью, как и хромоникелевая сталь марки 18X2H4BA прочностью 120 кгс/мм^2 (табл. 2). По свойствам сталь марки 30Н9К4А не уступает мартенситностареющей стали, но

содержит вдвое меньше никеля и кобальта. Мартенситностареющие стали (напр., сталь марки H18K8M3T) упрочняются вследствие мартенситного превращения при закалке и в особенности дисперсионного твердения при отпуске, отличаются высокой прочностью ($160-220\text{ кгс/мм}^2$) и вязкостью. Такие стали хорошо свариваются и деформируются (см. *Свариваемость, Деформируемость*). Высокопрочную сталь выплавляют в электрических печах и поставляют в виде сортового и профильного проката, листов, труб и поковок. Для мех. обработки используют режущий инструмент из твердых сплавов. Из В. с. изготавливают валы, шестерни, муфты, рычаги и др. изделия.

Лит.: Романів О., Черепанова Г. Термомеханічне зміцнення сталі. К., 1966; Перкас М. Д., Кардонский В. М. Высокопрочные мартенситно-старееющие стали. М., 1970; Потаков Я. М. Высокопрочные стали. М., 1972; Гуляев А. П. Структура и свойства стали после термомеханической обработки. М., 1972; Гуляев А. П. Чистая сталь. М., 1975. А. П. Гуляев.

ВЫСОКОПРОЧНОЕ СТЕКЛО, упрочненное стекло — стекло, отличающееся повышенной механической прочностью. Как правило, в три-пять раз прочнее обычного стекла. Поскольку прочность стекла зависит гл. обр. от состояния поверхности, его упрочняют, устраняя поверхностные дефекты стекла

Рис. 2. Зависимость работы развития трещины (т-ра 300°C) при полностью вязком изломе от прочности стали типа X5M2CF: \blacktriangle , \triangle — высокотемпературная термомеханическая обработка; \square — низкотемпературная термомеханическая обработка; \bullet , \circ — закалка; зачерненные значки — сталь обычной чистоты; незачерненные значки — сталь высокой чистоты.



помощью хим. травления или локализую их созданием в поверхностных слоях значительных сжимающих напряжений. Для создания таких напряжений прибегают к термической закалке стекла на воздухе и в жидкости, ионному обмену (обработке стекла в расплаве щелочных солей) или поверхностной кристаллизацией. Кроме того, стеклянные изделия упрочняют, используя в процессе формирования трехслойное стекло, у которого наружные слои обладают меньшим коэффициентом термического расширения, чем внутренний слой (см. *Безосколочное стекло*), либо нанося на поверхность изделия защитные пленочные покрытия или эмали. Для некоторых изделий особенно эффективны двухстадийные способы упрочнения (напр., закалка с травлением, ионный обмен с закалкой). В промышленных масштабах широко применяют термическую воздушную закалку, реже — жидкостную закалку, нанесение защитных покрытий, способ ионного обмена и создание трехслойных стекол. При хим. травлении добиваются максимальной прочности (предел прочности на изгиб может достигать 300—500 кгс/мм²), однако в реальных условиях ее сохранить трудно (травленные поверхности стекла легко повреждаются вновь). К тому же приходится расходовать большое количество относительно дефицитной и ядовитой плавиковой кислоты, вследствие чего этот способ применяют относительно редко. Воздушная закалка дает возможность получать высокопрочные стеклянные двери, стаканы, посуду, спец. стекла (сталинит) и облицовочные материалы (стемалит). Однако она трудно применима (иногда совсем не применима) для упрочнения тонкого стекла (2—3 мм), изделий сложной конфигурации или переменной толщины, а также термостойких стекол, обладающих малым коэффициентом термического расширения. Способ ионного обмена более применим для упрочнения тонких стекол, хотя иногда он снижает хим. стойкость стеклянных изделий. У обычных стекол с отношением $Al_2O_3 : N_2O < 5$ глубина ионнообменного слоя не превышает 30 мкм, вследствие чего

эффект упрочнения при нанесении глубоких царапин может частично уменьшаться. Чтобы повысить эффект упрочнения, синтезируют стекла с отношением $Al_2O_3 : N_2O = 0,5—1$ или интенсифицируют ионный обмен, напр. с помощью ультразвуковых колебаний или электр. поля. Упрочнение поверхностной кристаллизацией и созданием трехслойного стекла связано с применением спец. составов и не всегда экономически выгодно. Нанесение защитных покрытий увеличивает прочность стекла всего на 30—45%. Упрочнение наиболее эффективно для большинства стеклянных изделий, используемых на транспорте, для листового строительного стекла, стеклянных труб, некоторых видов лабораторного и медицинского стекла, защитных очковых и приборных стекол и др., к-рым предъявляют жесткие требования относительно мех. нагрузок — статических, динамических и вибрационных. На высокопрочное стекло разработаны ГОСТы 5727—57; 9424—60; 11803—66 и 1663—57.

Лит.: Витман Ф. Ф., Берштейн В. А., Пух В. П. О высокопрочном состоянии стекла. В кн.: Прочность стекла. М., 1969; Бокан П. Я. Механические свойства силикатных стекол. Л., 1970; Вартецов Г. М. Сверхпрочные и высокопрочные неорганические стекла. М., 1974. В. А. Железцов.

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН с шаровидным графитом — чугун, отличающийся высокой прочностью и пластичностью. Промышленное производство его началось в 50-х гг. 20 в. Отличается от серого чугуна шаровидной формой графита (см. *Графит шаровидный*), обуславливающей высокие прочностные и пластические св-ва (табл. 1). В. ч. содержит, кроме железа и углерода, марганец, кремний, фосфор, серу, алюминий, а также азот, кислород, водород и модификаторы (см. *Модифицирующие материалы*) — магний, кальций, редкоземельные и др. металлы. Различают В. ч. нелегированный и легированный. В качестве легирующих элементов (см. *Легирующие материалы*) используют никель, марганец, медь, молибден, ванадий, хром, сурьму, титан

и олово. По структуре В. ч. подразделяют на ферритный (см. *Феррит*), ферритоperlитный, perlитный (см. *Perlит* в металлосведении), perlитоцементитоферритный и аустенитный (см. *Аустенит*). Различают также В. ч. с трооститной (см. *Троостит*), трооститоферритной, мартенситной (см. *Мартенсит*), perlитоцементит-

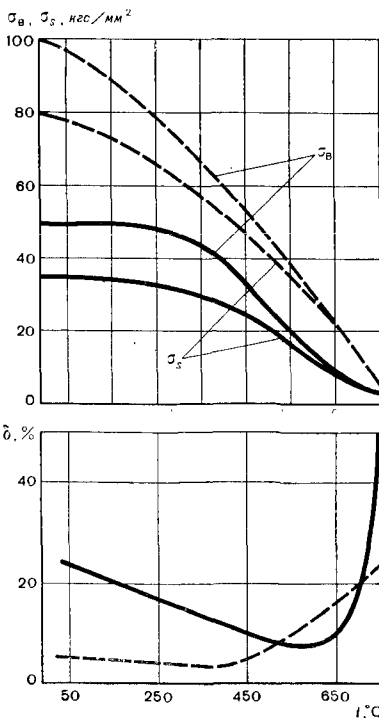
Таблица 1. Свойства высокопрочных чугунов с шаровидным графитом

Марка чугуна	σ_B , кгс/мм ²	σ_s (σ_T), кгс/мм ²	δ , %	a_H , кгс·м/см ²	HB
	не менее				
ВЧ38-17	38	24	12	6,0	140—170
ВЧ42-12	42	28	17	4,0	140—200
ВЧ45-5	45	33	5	3,0	160—220
ВЧ50-2	50	38	2	2,0	180—260
ВЧ60-2	60	40	2	2,0	200—280
ВЧ70-3	70	40	3	3,0	229—275
ВЧ80-3	80	50	3	2,0	220—300
ВЧ100-4	100	70	4	3,0	302—369
ВЧ120-4	120	90	4	3,0	302—369

ной и др. стр-рами (см. вклейку 256 и 257 сс.). Ферритный (рис.) и аустенитный чугуны отличаются высокими пластическими св-вами (относительное удлинение 5—35%, ударная вязкость 2—20 кгс·м/см²). К аустенитным относятся чугуны *номаг* и *нирезист* с разным содержанием никеля. Высокие мех. св-ва аустенитных чугунов не изменяются до т-ры 600° С. Особенно перспективны также чугуны при эксплуатации в условиях низких т-р (вплоть до т-ры — 250° С). Perlитный и трооститный чугуны характеризуются высокой прочностью (предел прочности на растяжение 60—140 кгс/мм²) при относительно невысоких пластических св-вах (относительное удлинение — 2,0—6%, ударная вязкость 2,0—6,0 кгс·м/см²). Получению perlитной структуры способствуют никель, медь, хром, марганец и олово. Чугун с perlитной и трооститной структурами отличается высокой износостойкостью; чугун с трооститной и трооститоферрит-

ной структурой, получаемыми изотермической закалкой, — наиболее высокой усталостной прочностью (табл. 2). Св-ва чугунов в значительной мере определяются хим. составом, технологией получения, условиями охлаждения, наличием легирующих элементов и др. По циклической вязкости чугун с шаровидным графитом занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. В. ч. в зависимости от структуры относятся к износостойким чугунам или коррозионностойким чугунам. Сопротивление коррозионному разрушению В. ч. выше, чем сопротивление серого чугуна с пластинчатым графитом. Нелегированные perlитные чугуны характеризуются меньшей коррозионной стойкостью, чем ферритные. Увеличение содержания кремния (особенно при одновременном легирова-

Зависимость механических свойств высокопрочного чугуна с шаровидным графитом от температуры: сплошная линия — отожженный ферритный чугун; штриховая линия — нормализованный perlитный чугун.



или молибденом) повышает коррозионную стойкость. Нирезист с шаровидным графитом более коррозионностоек (в 20 раз) в 14%-ной соляной кислоте и более коррозионностоек (в два раза) в 75%-ной серной кислоте, чем *коррозионностойкая сталь* марки X18H10T. В щелочных средах коррозионная стойкость нирезиста такая же, как и стали марки X18H10T. В растворах пергидроли, метанола, бензола и четыреххлористого углерода такой чугун отличается высокой коррозионной стойкостью. *Жаростойкость* легированного и нелегированного чугунов выше, а рост (см. *Рост чугуна*) меньше, чем серого чугуна. В. ч. получают *модифицированием жидкого чугуна*, выплавляемого в доменных печах, вагранках и электр. печах. В качестве модификаторов используют магний и *лигатуры* на основе магния (магний — никель, магний — кремний — железо, магний — никель — редкоземельные металлы, магний — кремний — железо — редкоземель-

ные металлы), а также комплексные модификаторы, содержащие кальций, редкоземельные металлы, барий, стронций, скандий, магний и др. компоненты. Магния в лигатурах содержится 3—20%. Редкоземельные металлы нейтрализуют влияние вредных примесей в чугуне и повышают модифицирующую способность лигатур. В комплексных модификаторах основное сфероидизирующее влияние (см. *Сфероидизация*) оказывает кальций вместе с магнием и редкоземельными металлами. Комплексные модификаторы расходуются в меньшем количестве, если отношение кальция к магнию, редкоземельным металлам и др. компонентам составляет 1:1. Редкоземельные металлы в составе комплексных модификаторов увеличивают продолжительность действия модификатора при выдержке жидкого модифицированного чугуна в ковше. Недостаток магния

Таблица 2. Свойства высокопрочных чугунов с шаровидным графитом с различной структурой

Структура чугуна	σ_B , кгс/мм ²	σ_{-1} , кгс/мм ²	τ_{-1} , кгс/мм ²	δ , %	a_H , кгс·м/см ²	НВ
Ферритная	40—50	16—18	10—12	5—20	3—15	170—187
Перлитная	50—90	24—27	11—13	2—5	2,0—4,0	229—269
Аустенитная	40—50	—	—	10—35	4—20	170—187
Трооститная	100—140	35—38	26—28	3—6	2—6	285—321
Трооститоферритная	70—90	32—34	24—26	4—8	3—8	229—269

Таблица 3. Свойства высокопрочных чугунов с шаровидным графитом с различной структурой после термической обработки

Структура чугуна	Термическая обработка	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	a_H , кгс·м/см ²	НВ
Перлитоферритная	Без термической обработки	58,2	3,6	2,1	217
Перлитная	Нормализация	69,6	4,1	3,4	255
Сорбитная	Закалка + отпуск при $t_{\text{ре}} 600^\circ \text{C}$	76,0	3,9	2,8	269
Трооститная	Изотермическая закалка от $t_{\text{р-ы}} 860^\circ \text{C}$ в среде с $t_{\text{рой}} 350^\circ \text{C}$	122,1	5,4	3,0	302
Трооститоферритная	Изотермическая закалка от $t_{\text{р-ы}} 830^\circ \text{C}$ в среде с $t_{\text{рой}} 350^\circ \text{C}$	82,1	7,4	5,6	255
Ферритная	Ферритизирующий отжиг	48,2	18,3	10,2	179

Примечание: Состав чугуна: 3,48% С_{общ}; 2,93% Si; 0,61% Mn; 0,07% P; 0,80 Ni; 0,25% Cu; 0,2% Mo; 0,035% Mg; 0,048% Ca; 0,1% редкоземельных металлов.

и лигатур на его основе — образование *неметаллических включений*: т. н. черных пятен, состоящих гл. обр. из MgO и MgS , уменьшающих прочность чугуна. Устранению пятен способствуют глубокая десульфурация исходного чугуна, что удорожает технологию плавки, и добавление *флюсов* (напр., криолита). Модификаторы, содержащие кальций, не образуют черных пятен, и при кристаллизации чугуна отливки получаются без отбела. Комплексные модификаторы отличаются более высокой рафинирующей способностью, чем магний и лигатуры на его основе, что позволяет получать чугуны с более высокими мех. св-вами и лучшей формой графита. Модификаторы вводят в ковш перед выпуском жидкого металла из плавильного агрегата, в расплавленный чугун в спец. автоклавах, инжекционными и др. способами. Все чаще В. ч. получают модифицированием чугуна непосредственно в форме. Качество В. ч. повышают применением высококачественных шихтовых материалов, кальцийсодержащих комплексных модификаторов, легированием и термической обработкой. В. ч. подвергают почти такой же термической обработке, как и сталь. Термическая обработка способствует получению чугуна максимально прочного и пластичного, а также со спец. эксплуатационными св-вами. Графитизирующий отжиг проводят с целью разложения первичных и эвтектических карбидов. Нормализация способствует получению перлитной металлической основы, ферритизирующий отжиг улучшает пластические св-ва, закалка, в том числе изотермическая закалка, улучшает прочностные св-ва (табл. 3). В. ч. подвергают *химико-термической обработке*, в частности азотированию, при к-ром повышаются износостойкость, установившаяся прочность и др. св-ва. Из В. ч. изготавливают стелеразливочные изложницы, стойкость которых в 1,5—2,5 раза выше стойкости изложниц из серого чугуна, прокатные валки, кокши, станины мощных молотов и прессов, штампы для гиб-

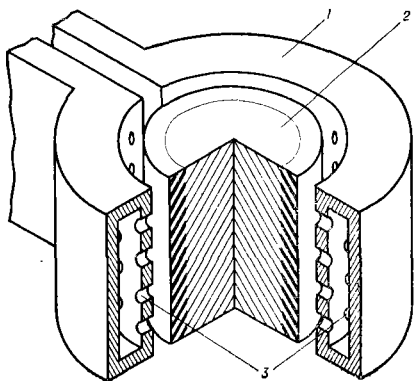
ки и холодный высадки, коленчатые и распределительные валы, поршни, поршневые кольца, цилиндры, корпусные детали компрессоров и двигателей, арматуру, тябниги, трубы, шестерни, звездочки, рычаги, патуны, сушильные цилиндры и др. изделия. В. ч. применяют в авто- и тракторостроении, в хим. и нефтяном машиностроении, в строительстве, в черной и цветной металлургии и др. отраслях пром-сти. Часто В. ч. используют вместо стали, серого и ковкого чугуна, некоторых бронз и алюминия сплавов. Марки и мех. св-ва В. ч. приведены в ГОСТе 7293—70.

Лит.: Ващенко К. И., Софронов Л. Магний и чугун. М.—К., 1960; Горшков А. А. и др. Справочник по изготовлению отливок из высокопрочного чугуна. М.—К., 1961; Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.—Л., 1966; Волощенко М. В. Получение чугуна с шаровидным графитом при использовании комплексных модификаторов. К., 1968; Волощенко М. В., Сидлецкий О. Г. Современное состояние производства и применения высокопрочного чугуна с шаровидной формой графита. К., 1970; Шейко А. А. Получение и свойства немагнитных чугунов с шаровидным графитом. К., 1970; Циклическая вязкость чугуна. К., 1973; Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. К., 1974.

М. В. Волощенко.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ЗАКАЛКА — поверхностная закалка стали с применением *высокочастотного нагрева*. Разработана в СССР в 30-х гг. Заключается в индукционном на-

Схема устройства для высокочастотной закалки (индуктор совмещен с душем): 1 — закалочный индуктор; 2 — закаливаемое изделие (выделен закаливаемый слой); 3 — отверстия для подачи охлаждающей воды на поверхность изделия.



реве поверхности изделия с последующим охлаждением, в результате чего существенно повышается твердость поверхностного слоя, что связано с образованием в нем мартенситной структуры при сохранении исходной структуры глубинных слоев. Скорость нагрева при В. з. 50—400 град/сек, что обуславливается высокой концентрацией мощности — до $5 \cdot 10^4$ квт/м². Для В. з. используют токи высокой, средней, а иногда и низкой частоты (50 гц). Чем меньше частота, тем больше глубина закаленного слоя (обычно 2—8 мм). В. з. чаще всего подвергают стали с 0,3—0,6% С, а также хромоникелевые и хромистые стали. Т-ра нагрева 800—1050° С возрастает с уменьшением содержания углерода и увеличением скорости нагрева. Для охлаждения применяют различные закалочные среды (воду, масло, синтетические жидкости и др.), помещая изделия в ванну или используя душевое устройство, нередко совмещенное с закалочным индуктором (рис.). Остаточные напряжения снимают низким отпуском изделий (нагрев до т-ры 200—240° С). Твердость закаленного слоя после отпуска 50—64 HRC. Чтобы в изделиях сложной формы (напр., в шестернях) достичь равномерного по контуру закаленного слоя, применяют индукторы спец. конфигурации, используют нагрев на двух частотах: средней и высокой и др. Зубья крупных шестерен закалывают поочередно. Если используются стали пониженной и регламентированной прокаливаемости, напр. марок 55пш и 110пш, равномерность закаленного слоя по обводу шестерни обуславливается св-вами сталей. Качество изделий контролируют неразрушающими методами (внешним осмотром, электромагн. способами), выборочно контролируя на излом, по твердости, исследуя макрошлиф и применяя металлографический анализ микрошлифа. Установка для В. з. состоит из источника питания — преобразователя частоты и собственно закалочного устройства, важнейшими элементами к-рого являются закалочный индуктор, трансформатор, конденсаторная батарея и механизмы подачи, вращения и перемещения изделий. Эффек-

тивность закалочной установки во многом определяется механизацией и автоматизацией подачи и выгрузки изделий. По способу ведения процесса В. з. подразделяют на одновремениую и непрерывно-последовательную, применяющуюся для закалки длинных валов и отличающуюся от одновременной тем, что в данный момент времени нагревается только участок всей поверхности изделия, благодаря чему снижается необходимая мощность источника питания. Закалочные установки бывают специализированными и универсальными, одно- и многопостовыми (по числу индукторов на один источник питания). В. з. позволяет заменять дорогостоящие легированные стали более дешевыми среднеуглеродистыми (см. Углеродистая сталь), обеспечивает лучшее (по сравнению с др. видами нагрева) качество структуры закаленного слоя (безгольчатый и мелкогольчатый мартенсит). В. з. характеризуется высокой производительностью, высокой степенью автоматизации и вместе с тем относительно большими капитальными затратами и повышенными требованиями к квалификации обслуживающего персонала. В. з. применяют в массовом и крупносерийном произ-ве, напр. в автотранспортном пром-сти, на предприятиях по произ-ву инструмента и т. п.

Лит.: Вологдин В. П. Поверхностная индукционная закалка. М., 1947; Демичев А. Д., Головин Г. Ф., Пашкин С. В. Высокочастотная закалка. М.—Л., 1965; Головин Г. Ф., Замятин М. М. Высокочастотная термическая обработка. Л., 1968; Киндин И. Н. Физические основы электро-термической обработки металлов и сплавов. М., 1969; Шепеляковский К. З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве. М., 1972. А. Б. Кувалдин

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ НАГРЕВ — нагрев материалов с использованием токов высокой частоты; в более широком смысле — нагрев материалов в переменном электромагнитном поле. В зависимости от св-в нагреваемого материала (проводника или диэлектрика) и механизма преобразования энергии переменного электромагн. поля в тепловую В. н.

подразделяют на *индукционный нагрев* и *диэлектрический нагрев*. Для В. н. используют токи низких (50 или 60 гц), средних (от 150 гц до 10 кгц), высоких (до 300 мгц) и сверхвысоких (свыше 300 мгц) частот. В диапазоне средних частот источниками питания служат: феррорезонансные утроители частоты; вращающиеся преобразователи частоты, состоящие из приводного электродвигателя и машинного генератора индукторного типа, а также статические преобразователи частоты — ионные и тиристорные инверторы, действие к-рых основано на использовании бесконтактных переключающих ионных и полупроводниковых приборов. Наиболее перспективны статические преобразователи, особенно тиристорные, благодаря высокому кпд (до 0,95), небольшим потерям холостого хода (около 2% от номинальной мощности), возможности регулирования частоты, отсутствию вращающихся элементов и вибраций, а также компактности. В диапазоне высоких частот питание установок осуществляют от ламповых генераторов, в к-рых перспективно применение генераторных электронных ламп с магн. фокусировкой и полупроводниковых выпрямителей (коэффициент полезного действия полупроводниковых выпрямителей составляет до 0,9). В сверхвысокочастотном диапазоне в качестве источника питания используют магнетроны и клистроны. Осн. преимущества высокочастотного нагрева — высокая концентрация мощности и значительные скорости нагрева, бесконтактный характер нагрева, что обуславливает отсутствие загрязнений нагреваемого материала, легкость регулирования и автоматизации процесса. Установки и устройства В. н. применяют для *высокочастотной закалки*, зонной очистки полупроводников, плавления окислов, нагрева газов (рис.) и др. В. н. позволяет получать потоки плазмы (аргона, азота и др.) со средней т-рой в несколько тысяч градусов, применяющиеся для выращивания *монокристаллов* тугоплавких веществ и монокристаллических топ-

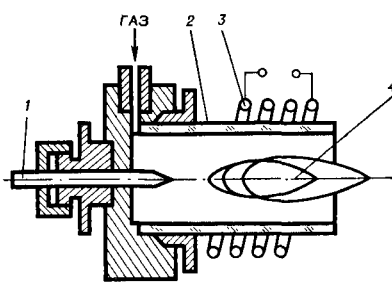
пленок полупроводников, в плазмодипии и т. д. См. также *Нагрев металла*.

Лит.: Высоочастотная электротермия. Справочник. М.—Л., 1965; Тиристорные преобразователи высокой частоты. Л., 1973; Шамоу А. Н., Бодажков В. А. Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. Л., 1974; Донской А. В., Рамм Г. С., Вигдорович Ю. Б. Высоочастотные электротермические установки с ламповыми генераторами. Л., 1974; Пюшнер Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот. Пер. с англ. М., 1968.

А. Б. Кувалдин.

ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ — тонкодисперсные материалы, образующие при смешивании с водой пластичную массу, затвердевающую в прочное камневидное тело. Древнейший В. м. — глина, применение к-рой не требует предварительной термической обработки. Более прочные вяжущие материалы были получены искусственно (*обжигом*) за 3 тыс. лет до н. э. Глина — естественное вяжущее, нуждающееся лишь в разминании и увлажнении. Для предотвращения усадки и растрескивания при высыхании теста из чистой (жирной) глины ее отощают песком, получая строительный раствор, или используют запесоченную (тощую) глину. Чтобы увеличить прочность, в глиняное тесто или раствор вводят траву, рубленую солому и другие волокнистые материалы. В строительной практике глину используют как заменитель *извести* в растворах и как материал для кладки печей, для глинобитных полов и строений, где не требуется большой прочности (см. также *Глины*). В зависимости от состава и

Схема устройства для высокочастотного нагрева газов: 1 — металлический электрод для возбуждения высокочастотного плазменного разряда; 2 — кварцевая труба; 3 — индуктор; 4 — высокочастотный плазменный разряд.



связ-В. м. подразделяют на гидравлические, воздушные и кислото-стойкие. Гидравлические В. м. после затвердения водой и предварительного затвердевания на воздухе продолжают твердеть в воде. К ним относятся: *портландцемент* и его разновидности, *пуццолановый портландцемент*, *шлакопортландцемент*, *глиноземистый цемент*, *расширяющийся цемент* и его разновидности, а также романцемент, гидравлическая известь, известково-шлаковые, известково-глинистые и известково-золяные *цементы*, получаемые либо обжигом соответствующих *мергелей* при t -ре 900—1100° С с последующим помолом, либо совместным помолом природных гидравлических добавок, обожженных глин, *шлаков* или др. отходов произ-ва с добавкой извести (15—40%) либо солей-активаторов — гл. обр. сульфатов (до 5%). Гидравлические В. м. применяют в строительстве наземных и подземных сооружений, подверженных воздействию воды, для приготовления бетонов и растворов, изготовления строительных деталей, омоноличивания строительных конструкций, гидроизоляции и др. Воздушные В. м. после затвердения водой твердеют и длительно сохраняют прочность только на воздухе. К ним относятся гипсовые материалы, получаемые на основе полуводного сульфата кальция либо безводного сульфата кальция (ангидритовые), известь и магнезиальные. В зависимости от условий термической обработки, скорости схватывания и твердения их подразделяют на низкообжиговые (быстротвердеющие) и высокообжиговые (медленнотвердеющие) — ангидритовое вяжущее и высокообжиговый гипс (эстрихгипс). Строительный гипс получают термической обработкой при t -ре 140—190° С гипсового камня (природного двуводного *гипса*) с предшествующим или последующим помолом. Формовочный и высокопрочный гипс — разновидности строительного, отличающиеся повышенной прочностью (см. также *Строительный гипс*, *Формовочный гипс*).

Ангидритовое вяжущее получают обжигом природного гипсового камня в интервале t -р 450—750° С с последующим помолом его с добавками — катализаторами твердения (известью, сульфатами, обожженным *доломитом* и др.). Высокообжиговый гипс получают термообработкой природного гипса или ангидрита при t -ре 800—1000° С с последующим помолом продукта обжига. Магнезиальные вяжущие — каустический *магнезит* и каустический доломит — получают обжигом соответственно природного магнезита и доломита с последующим тонким измельчением. В отличие от других магнезиальных вяжущих затворяют не водой, а растворами хлористых и сернокислых солей. Применяют их гл. обр. в смеси с древесными заполнителями. Кислотостойкие В. м. после затвердения на воздухе длительно сохраняют прочность при воздействии к-т. Их затворяют на водном растворе силиката натрия (растворимого стекла). Растворимое стекло по виду сырья подразделяют на содовое, содовое-сульфатное и сульфатное. Все его сорта различают по кремнеземистому модулю, т. е. по величине отношения числа молекул окиси кремния к числу молекул щелочных окислов. Обычно используют стекло с модулем 2,5—3,0. Растворимое стекло может быть натриевым или калиевым. Иногда готовят смешанные, или двойные стекла, содержащие оба осн. окисла. В строительстве чаще всего применяют натриевое стекло. Для произ-ва растворимого стекла используют материалы кремнеземистые (кварцевые *пески*, *кварц*, пылевидный кристаллический кремнезем, природный и искусственный аморфный кремнезем) и щелочные (сода, поташ, сульфат натрия, едкий натрий и калий), обрабатывая их сухим или мокрым способом. Сухой способ основан на плавлении шихты при высокой t -ре (1110—1400° С) с последующей ее охлаждением и растворением. Расплав щелочного силиката при медленном охлаждении на воздухе застывает, превращаясь в твердый монолит — силикат-глыбу.

Если его охлаждать в холодной проточной воде, образуется мелкозернистый продукт — гранулят. Наиболее распространенный способ растворения силикат-глыбы — автоклавный: в неподвижных или вращающихся барабанных автоклавах при давлении 6—8 ат. Щелочной силикат можно растворять и при атмосферном давлении, но непременно в виде тонкодисперсного стеклоразбавителя при t -ре 90—100° С. Мокрый способ одностадийный, основан на растворении в едких щелочах различных форм кремнезема (см. также *Растворимое стекло*). Образующееся жидкое стекло отличается значительной хим. активностью. В закрытых сосудах его можно хранить долго, а на воздухе оно разлагается — и тем быстрее, чем выше модуль (при нагревании происходит разложение с выделением аморфного кремнезема). В промышленности строительных материалов жидкое стекло используют для изготовления обжиговых и безобжиговых изделий, облицовочных и кислотоупорных плиток, теплоизоляционных материалов и изделий, брикетирования стеклольной шихты, в качестве пептизатора глинистых суспензий, для приготовления красок и глазурей, получения силикатных фильтров и др. В строительстве его применяют для укрепления грунтов, силикатизации дорог, изготовления кислотоупорных цементов и бетонов, антикоррозийных и огнезащитных обмазок и т. п. (см. также *Жидкое стекло*). Вяжущими свойствами обладают кислотостойкие цементы и прежде всего кварцевый кремнефтористый цемент, изготавливаемый совместным помолом или смешиванием отдельно измельченных кварцевого песка и кремнефтористого натрия. Затворяют его водным раствором силиката натрия, после чего цемент превращается на воздухе в прочное камневидное тело, способное противостоять воздействию большинства минер. и органических к-т. Другие цементы изготавливают на основе растворимого стекла, кислотостойких наполнителей (вулканической лавы, андезита, диабазы и др.) и ускорителей твердения. Кис-

лотостойкие вяжущие неустойчивы к воздействию фтористоводородной, кремнефтористоводородной и фосфорной к-т, а также к их растворам (см. также *Кислотостойкий бетон*). Серный цемент — термопластичное вяжущее — обычно получают расплавлением товарных сортов серы с добавлением тонкодисперсного кислотостойкого наполнителя (в соотношении 60 : 40) и пластификатора (1,5—4%). Наполнителями служат кварцевый песок, кислотостойкий цемент, базальт, диабаз, андезит, трепел, шалом, сажа, асбест и др., пластификаторами — тиокол, термопрен и др. Селу расплавляют и, перемешивая, вводят в нее сначала наполнитель, а затем пластификатор. Составы с серным цементом перед употреблением нагревают до t -ры 145—155° С, а жидкую массу быстро используют. Серные цементы отличаются хорошей адгезией к металлам, особенно к меди (2,1—2,6 кгс/см²). Прочность на растяжение смеси серы (40%) с кварцевым песком 50—60 кгс/см². Определены оптимальные составы вяжущих с пределом прочности на сжатие 400—500 кгс/см², на растяжение 30—40 кгс/см², на изгиб 50—60 кгс/см². Объемная масса бетонов на основе серного вяжущего и тяжелых заполнителей 2300—2400 кг/м³, предел прочности на сжатие 300—350 кгс/см². Особенно эффективно их применение в строительстве хим. предприятий, в дорожном и гидротехническом строительстве, где требуется конструкционный быстротвердеющий бетон с повышенной коррозионной стойкостью. Серный цемент применяют для скрепления плиток, кирпичей и разделки швов, а также футеровки полов, аппаратуры и защиты строительных конструкций от действия органических и неорганических к-т (кроме плавиковой и щелочей). Он обладает высокой прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью, атмосферостойкостью. См. также *Вяжущие материалы фосфатные*. Лит.: Григорьев П. Н., Матвеев М. А. Растворимое стекло. М., 1956; Бутт Ю. М. [и др.]. Технология вяжущих веществ. М., 1965; Рояк С. М., Рояк Г. С. Специальные цементы. М., 1969; Воробьев В. А., Комар А. Г. Строительные материалы. М., 1973; Волженский А. В., Буров Ю. С.,

Н. В. Алексенко, А. А. Пащенко, В. П. Сербин.

ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ФОСФАТНЫЕ — тонкодисперсные материалы, образующие при смешивании с ортофосфорной кислотой пластичную массу, затвердевающую в прочное каменное тело. Образование прочной структуры в фосфатных системах обуславливается хим. реакциями и зависит от хим. природы и тонкости помола порошка, концентрации кислоты, т-ры и др. Проявление вяжущих св-в и получение необходимого эффекта твердения (образования прочной структуры) наблюдаются лишь при определенной скорости хим. взаимодействия между компонентами и интенсивности процессов структурообразования. Для регулирования скорости хим. реакции между порошком и ортофосфорной к-той применяют замедлители или ускорители, добавки-стабилизаторы, предварительный обжиг порошка, нагрев и т. д. Технология получения фосфатных вяжущих состоит из подготовки порошкообразного компонента, включающей помол до определенной тонкости (а иногда предварительный обжиг исходного продукта), и обработки его ортофосфорной к-той различной концентрации (50, 60, 75 или 99%). Наиболее распространенными цементами на основе фосфатов являются: титанофосфатный, медьфосфатный, цинкофосфатный, силикатный зубной, магнифосфатный и алюмофосфатный. Для получения титанофосфатного цемента порошок двуокиси титана затворяют ортофосфорной к-той плотностью 1,579—1,770 г/см³, после чего образовавшееся тесто нагревают до т-ры 300° С. Прочность на сжатие такого цемента от 150 до 615 кгс/см². Продукты твердения титанофосфатного цемента — коллоидно-дисперсные новообразования, к-рые при нагреве до т-ры 800° С образуют кристаллический фосфат состава 5TiO₂ · 2P₂O₅. Для получения медьфосфатного цемента ортофосфорной к-той затворяют порошок окиси меди. Если смесь нагреть до т-ры 100° С, прочность камня через 10 мин достигает 230

кгс/см², через 28 суток — 750 кгс/см². Этот цемент, отличающийся антисептическими св-вами, применяют в зубо врачебной технике. Кроме того, он обладает высоким объемным электрическим сопротивлением, равным 10⁻¹⁰ — 10⁻¹¹ ом · см. Продуктом твердения цемента является трехзамещенный фосфат меди Cu₃(PO₄)₂ × 3H₂O. Цинкофосфатный цемент получают обжигом до спекания (т-ра 1350° С) шихты, состоящей из ZnO, MgCO₃, SiO₂ и других добавок, последующим измельчением продукта обжига до остатка (на сите 10 000 отверстий на 1 см²) не более 0,5%. Затворителем служит раствор нейтрализованной ортофосфорной к-ты состава: H₃PO₄ — 77—78%; ZnO — 12,5—15%; Al(OH)₃ — 7,0—9,5%. При твердении зубного цинкофосфатного цемента образуется соединение Zn₃(PO₄)₂ · 4H₂O. Силикатный зубной цемент получают из стекла, состоящего из SiO₂, Al₂O₃, AlF₃, CaF₂, Na₂HPO₄ и др. компонентов. Затворителем служит тот же состав, что и для цинкофосфатного цемента. При твердении образуется фосфат алюминия и коллоидная кремневая к-та. Для получения магнифосфатного цемента порошок окиси магния затворяют ортофосфорной к-той с концентрацией 50—90%. Предварительно окись магния обжигают (чтобы уменьшить интенсивность ее взаимодействия с к-той) при т-ре выше 1000° С. Осн. продуктом твердения цемента является кислая соль состава MgHPO₄ · 3H₂O. Прочность камня через сутки достигает 450 кгс/см², через 28 суток — до 700 кгс/см². К алюмофосфатным вяжущим относятся жидкая алюмофосфатная связка и алюмофосфатный цемент. Алюмофосфатную связку получают взаимодействием между глиноземосодержащими материалами и ортофосфорной к-той. Если используют активную форму глинозема — гидроокись Al(OH)₃, такая связка затвердевает при низкой т-ре. Если применяют спеченный глинозем, связку нагревают. Чтобы получить связку при низкой т-ре, твердение ускоряют, вводя катализаторы или повышая т-ру. Лучшими вяжущими

св-вами обладают кислые алюмофосфаты $Al(H_2PO_4)_3$ и $Al_2(HPO_4)_3$. Из-за высокой т-ры плавления (выше $1900^\circ C$) их используют для приготовления огнеупорных бетонов и обмазок. В зависимости от наполнителя, вводимого в алюмофосфатную связку, различают бетоны кремнеземистые, алюмосиликатные, магниевые, цирконистые, карбидокремниевые и окисные. Алюмофосфатный цемент получают взаимодействием корунда (90%) и гидроокиси $Al(OH)_3$ (10%), смесь к-рых затворяют 55—37%-ной ортофосфорной к-той и нагревают до т-ры $300^\circ C$. Такой цемент отличается высокими механическими св-вами и повышенной огнеупорностью. Конечным продуктом твердения является $AlPO_4$. Поскольку фосфатные цементы обладают хорошей адгезионной способностью, их применяют для нанесения покрытий на металл, керамику, стекло. Прочность сцепления фосфатных связок зависит от природы порошка, концентрации ортофосфорной к-ты и условий приготвления и нанесения связки. Большая адгезия у тех сплавов и металлов, которые менее подвержены действию ортофосфорной к-ты (нержавеющей стали, титана). Адгезия фосфатных связок к металлу зависит от температурного коэфф. линейного расширения металла и связки, что особенно важно при эксплуатации металла в условиях повышенных т-р. Цементы фосфатного твердения используют для защиты конструкционных материалов, прежде всего металлов, от внешнего воздействия.

Лит.: Г о л ы н к о - В о л ь ф с о н С. Л. (и др.). Химические основы технологии и применения фосфатных связок и покрытий. М., 1968. Е. И. Ведь.

ВЯЗКОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ — свойство материала оказывать сопротивление распространению в нем трещин. Количественными характеристиками В. р. в основном служат плотность энергии разрушения γ , т. е. работа, к-рую необходимо затратить на образование единицы новой поверхности в материале; макс. значение коэфф. интенсивности напряжений K_{IC} около вершины трещины

(в момент ее страгивания в деформируемом материале, когда в окрестности трещины реализуется состояние плоской деформации; макс. раскрытие (δ_K) между противоположными берегами трещины в ее тупиковой части при страгивании. Под термином «вязкость разрушения» иногда понимают вообще способность материала оказывать сопротивление хрупкому разрушению, к-рую оценивают, кроме указанных величин, волокнистостью излома, ударной вязкостью и др. характеристиками. Физ. природа В. р. зависит от особенностей структуры материала, т-ры и среды, в к-рой происходит его деформирование, скорости нагрузе-

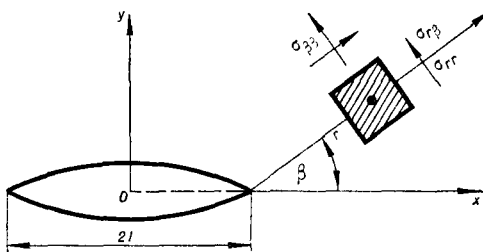
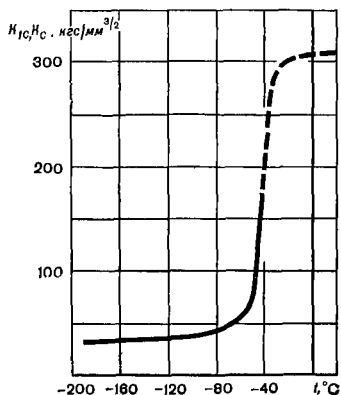


Рис. 1. Схема местной системы координат в окрестности вершины трещины при анализе вязкости разрушения материала.

Рис. 2. Изменение вязкости разрушения в зависимости от температуры испытания термообработанной ($HRC = 45$) углеродистой стали марки У8. Сплошная линия — изменение K_{IC} , штриховая линия — изменение K_C .



ния и т. п. Для квазихрупких (мало-пластичных) материалов величины γ , K_{1C} и δ_K связаны между собой равенством

$$2\gamma = \sigma_T \delta_K = \frac{(1 - \nu^2) K_{1C}^2}{E},$$

где σ_T — предел текучести материала; ν — коэфф. Пуассона; E — модуль Юнга. Понятие о В. р., характеристикой к-рой является коэфф. K_{1C} , вытекает из того, что компоненты тензора напряжений (σ_{rr} , $\sigma_{\beta\beta}$ и $\sigma_{r\beta}$) в окрестности вершины тре-

щины норм. отрыва в деформируемом материале (рис. 1) определяются ф-лой

$$\sigma_{ij} = \frac{k_1}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\beta) + O(1),$$

где $k_1 = k_1(P, l)$ — коэфф. интенсивности напряжений, зависящий от конфигурации тела, размеров трещины (l), величины действующей нагрузки P , но не зависящий от координат r и β ; $f_{ij}(\beta)$ — известные функции угла β ; $O(1)$ — ограниченная величина при $r \rightarrow 0$. Условием локального разрушения материала (страгивания трещины) является равенство $k_1(P_*, l) = K_{1C}$, где P_* — предельное значение внешней нагрузки для материала с трещиной, т. е. такое миним. значение нагрузки P , при достижении к-рого трещина растет; K_{1C} (макс. значение коэфф. k_1) — значение вязкости разрушения при плоском деформировании. При плоском напряженном состоянии вязкость разрушения обозначают через K_{IC} . Характеристика K_{1C} почти не зависит от размеров образца, что отличает ее от характеристики K_{IC} , в связи с чем K_{1C} принято рассматривать как константу материала. Величина K_{1C} (как и δ_K или γ) при заданной т-ре испытания и скорости нагружения является характеристикой св-в материала в окрестности острых трещиноподобных источников концентрации напряжений. В. р. существенно дополняет обычные (принятые как стандартные) мех. характеристики прочности конструкционных материалов; она чувствительна к воздействию т-ры, скорости деформирования образца и др. охрупчивающих факторов. В. р. — важный показатель хладостойкости материала (рис. 2), а также его работоспособности при воздействии различных рабочих сред (поверхностно-активных, коррозионно-агрессивных). Получение сплавов с высокой В. р. в сочетании с высоким уровнем предела прочности σ_B и предела текучести σ_T — одна из важнейших задач металловедения высокопрочных конструкционных

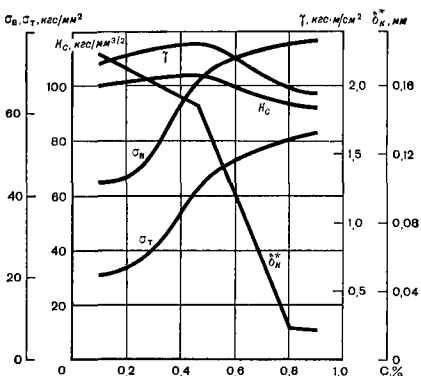
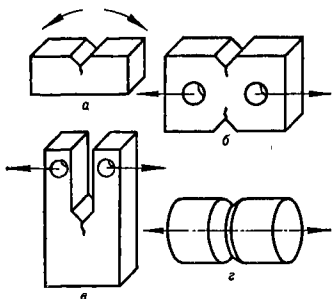


Рис. 3. Изменение вязкости разрушения, предела прочности и предела текучести углеродистой стали в зависимости от содержания углерода при температуре 20°С (δ_K^* — величина, пропорциональная δ_K).

Рис. 4. Образцы для испытаний на вязкость разрушения: а — прямоугольный образец с боковой трещиной для испытаний на изгиб; б, в — прямоугольные образцы с боковой трещиной для испытаний на растяжение; г — цилиндрический образец с внешней кольцевой трещиной для испытаний на растяжение.



высокопрочных конструкционных

материалов. С этой точки зрения среди высокопрочных сплавов ($\sigma_B > 160 \text{ кгс/мм}^2$) самая высокая В. р. у безуглеродистых мартенситно-старееющих сталей ($K_{IC} \geq 280 \text{ кгс/мм}^{3/2}$), а также у метастабильных аустенитных сталей, у к-рых она достигается в результате образования мартенсита деформации в зоне, где реализуется пластическая деформация (в частности, у вершины трещины). В. р. зависит от характера легирования и содержания вредных примесей в стали. Легирование никелем повышает В. р., сера и фосфор снижают ее. В. р. повышают различными видами рафинирования (напр., электрошлаковым, вакуумно-дуговым и электроннолучевым переплавами), а также термической обработкой и термомеханической обработкой металлов (рис. 3, табл.). В. р. определяют на образцах с предварительно образованными (циклическим нагружением образца в окрестности конструктивного концентратора) трещинами регламентированной длины (рис. 4). Разработаны рекомендации, касающиеся выбора конфигурации и размеров образцов, а также получены аналитические вы-

ражения для определения В. р. по коэфф. $k_1(P, l)$ или δ_K . При испытании на В. р. используют прямоугольные образцы с боковой трещиной (образцы а, б и в на рис. 4), а также цилиндрические образцы с внешней кольцевой трещиной (образец г на рис. 4). Для цилиндрических образцов разработаны, в частности, эффективные способы образования исходных кольцевых трещин. Наряду с понятием о В. р. как характеристике сопротивления материала распространению трещины при однократном кратковременном нагружении существует представление о В. р. при длительных статических и циклических нагрузках. При длительном нагружении показателем В. р. является скорость докритического роста трещины, соответствующая заданному уровню коэфф. интенсивности напряжений, а также пороговые значения коэфф. интенсивности напряжений, при к-рых устанавливается субкритический рост трещины.

Лит.: П а н а с ю к В. В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами. К., 1968; И в а н о в а В. С. и др. Усталость и хрупкость металлических материалов. М., 1968; Ч е р е п а н о в Г. П. Механика хрупкого разрушения. М., 1974; Прикладные вопросы вязкости разрушения. Пер. с англ. М., 1968; Новые методы оценки сопротивления металлов хрупкому разрушению. Пер. с англ. М., 1972. В. В. Панасюк.

Вязкость разрушения материалов

Материал	Режим термообработки	σ_T , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	K_C , кгс/мм ^{3/2}	K_{IC} , кгс/мм ^{3/2}	Т-ра испытания, °С
Мартенситностареющая никелевая сталь марки Н18	Старение в течение 4 ч при т-ре 490° С ($HRC = 50 \div 53$)	184	190	—	273	+20
Титановый сплав марки ВТ-14	Закалка с т-ры 870° С в воде и старение в течение 8 ч при т-ре 500° С	110	130	—	170	-196
Сталь марки Х17Н2	Термообработанная	125	140	—	80	-193
Углеродистая сталь марки У8	Закалка с т-ры 810° С в масле и отпуск при т-ре 200° С	153	162	—	58	-196
Углеродистая сталь марки У8	Закалка с т-ры 810° С в масле и отпуск при т-ре 100° С	166	169	—	40	-196
Силикатное стекло	В состоянии поставки	—	—	—	2,2	+20
Сталь марки Х17Н2	Термообработанная	84	93	175	—	+20
Сталь марки 45Л	Нормализация и раскисление с 0,1% Al + 0,15% SiCa	45	69	125	—	+20
Сталь марки 45Л	Нормализация и раскисление без алюминия	45	67	110	—	+20
Алюминиевый сплав марки АЛ-4Д	Термообработанный	32	34	45	—	+20

ГАББРО (итал. gabbro) — глубинная магматическая горная порода, образовавшаяся в процессе застывания и кристаллизации базальтовой магмы. Собственно Г. состоит из равных (приблизительно) количеств основного плагиоклаза (от лабрадора до анортита) и моноклинового пироксена (диаллаг, нередко диопсид, авгит); в виде примесей встречаются титаномagnetит, ильменит, апатит, сфен, иногда пирротин, шпинель, хромит, пикотит. Из темноцветных минералов, помимо моноклиновых пироксенов, в Г. могут присутствовать оливин (оливиновое Г., а при отсутствии пироксенов — троктолит), ромбический пироксен (норит, а вместе с моноклиновым пироксеном — габбро-норит), роговая обманка (роговообманковое Г.) и др. Богатые плагиоклазом (до 85—90%) Г. известны под назв. плагиоклазитов; они сложены преим. крупными кристаллами лабрадора (лабрадориты), к-рые нередко отличаются красивой голубоватой или зеленоватой игрой цветов. Габбровые породы иногда связаны постепенными переходами с диоритами (габбро-диориты), сиенитами (габбро-сиениты или монпаниты) и др. Хим. состав (%): SiO_2 — $46 \div 50$; Al_2O_3 — $16 \div 18$ (в лабрадоритах до 28); Fe_2O_3 — $2 \div 3$; FeO — $6 \div 8$; MgO — $6 \div 8$; CaO — $9 \div 11$; Na_2O — $2,0 \div 2,5$; K_2O — $0,8 \div 0,9$. Структура типичного габбро застывшего на большой глубине, равномерносреднезернистая с одинаковой степенью идиоморфизма породообразующих минералов (габбровая). Кроме того, встречаются панидиоморфнозернистая, пойкилитовая, сидеронитовая (казанскит), офитовая (габбро-диабаз), порфировидная (тылаит) и келифитовая (венцовая) структуры. Текстура, как правило, массивная, однородная, но встречается и полосчатая (ленточная), изредка наблюдается также шаровая (корсит). Окраска черная, темно-зеленая, иногда пятнистая. Плотность 2,78—3,30 г/см³. По-

ристость 0,3—4,0%. Скорость распространения упругих волн в Г. (для нетрещиноватых разностей) 6,0—6,8 км/сек. Удельное электрическое сопротивление (1—9) 10^6 ом · м. Коэфф. теплопроводности 1,5—2,5 ккал/м · ч · град. Коэфф. температуропроводности (2,8—4,8) 10^3 м²/ч. Теплоемкость 0,172 ккал/кг · град. Т-ра плавления 1085° С. Предел прочности на сжатие (кгс/см²): воздушно-сухого — 381—3750; водонасыщенного — до 2770, после цикла замораживаний — до 1223. Потери при истирании — 0,05—0,70 г/см². Износ в барабане Деваля до 8,0%. Водопоглощение до 3,15%. Габбровые породы встречаются среди докембрийских образований и среди формаций палеозойского, мезозойского, а иногда и третичного возраста. Образуют обширные лакколиты, лополиты, штоки, а также небольшие дайки, жилы и интрузивные залежи. В процессе метаморфических преобразований, нередко с участием минерализаторов, габбровые породы претерпевают значительные изменения, выражающиеся в переходе моноклинового пироксена в уралитовую роговую обманку (уралитовое Г.) или в биотит (слюдяное Г.), а также в превращении основного плагиоклаза в агрегат цоизита и альбита — соссурит (соссуритовое Г.). При более глубоком метаморфизме габбровые породы превращаются в амфиболиты и роговообманковые сланцы. В свежем виде Г. часто используют в качестве строительного камня высокой прочности. Г. применяют также для облицовки зданий и колонн, при оформлении памятников, в камнелитейном производстве.

Лит.: Лучицкий В. И. Петрография. М.—Л., 1949; Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., 1961; Кобранова В. Н. Физические свойства горных пород. М., 1962; Дортман Н. Б. [и др.]. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. М., 1964; Дыбков В. Ф. [и др.]. Курс месторождений неметаллических полезных ископаемых. М., 1969.

Г. Л. Кравченко.

ГАДОЛИНИЙ [Gadolinium; по имени фин. химика Ю. Гадолина (J. Gadolin)], Gd — хим. элемент III группы периодической системы элементов; ат. н. 64, ат. м. 157,25; относится к редкоземельным элементам. Металл светло-серого цвета с металлическим блеском, при хранении на воздухе тускнеет. В соединениях проявляет степень окисления +3. Известны изотопы с массовыми числами от 148 до 161, наиболее стабильны изотопы с массовыми числами 152, 154, 155, 156, 157, 158 и 160. Открыт в 1880 швейц. химиком Ж. Мариньяком и франц. химиком П. Э. Лекоком де Буабодраном. В металлическом состоянии Gd впервые получил в 1937 франц. исследователь Ф. Тромб. Содержание в земной коре $1,0 \cdot 10^{-3} \%$. Пром. минералы Gd — монацит, ксенотим и гадолинит. Gd полиморфен, т-ра полиморфного превращения 1262°C . Кристаллическая решетка низкотемпературной модификации Gd — гексагональная плотноупакованная типа магния, с периодами решетки $a = 3,6360 \text{ \AA}$, $c = 5,7826 \text{ \AA}$, $c/a = 1,59$; решетка высокотемпературной модификации — объемноцентрированная кубическая с периодом $a = 4,06 \text{ \AA}$; плотность $7,898 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 1312^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} \sim 3000^\circ \text{C}$; коэфф. термического расширения $8,28 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; коэфф. теплопроводности $0,0218 \text{ кал/см} \times \text{сек} \cdot \text{град}$; теплоемкость $6,56 \text{ кал/г-атом} \cdot \text{град}$; электрическое сопротивление $140,5 \text{ мком} \cdot \text{см}$. Отличается самым высоким поперечным сечением захвата тепловых нейтронов — 46000 барн . Работа выхода электронов — $3,07 \text{ эв}$. Кюри точка 17°C (290 K). Модуль норм. упругости (модуль Юнга) 5730 кгс/мм^2 ; предел прочности $18,6 \text{ кгс/мм}^2$; $HV = 60$. Легко поддается мех. обработке. Химически активен. При высоких т-рах активно взаимодействует с кислородом, галогенами, серой, азотом, углеродом и др. неметаллами. Во время длительного хранения на воздухе при наличии водяных паров подвергается коррозии (см. Коррозия металлов). Gd сплавляется

со многими металлами, плавят его в инертной среде или в вакууме. Получают Gd металлотермическим восстановлением. Окислы, фториды или хлориды восстанавливают кальцием и затем дистиллируют для получения чистого металла. Выпускают Gd в виде слитков. Чистый Gd используют для исследовательских целей. Перспективные области применения Gd: атомная техника (регулирующие стержни), пост. магниты с различными точками Кюри (сплавы с железом, кобальтом, никелем), полупроводниковые материалы (селениды и теллуриды), ферромагнитные материалы, лазеры.

Лит.: Диогенов Г. Г. История открытия химических элементов. М., 1960; Савицкий Е. М., Терехова В. Ф. Металловедение редкоземельных металлов. М., 1975. В. Ф. Терехова.

ГАДОЛОН — бетон, получаемый в результате твердения смеси минерального вяжущего, тонкодисперсного кремнеземистого компонента, газообразующих добавок и воды; разновидность ячеистого бетона. Кремнеземистые компоненты — кварцевый песок, доменный гранулированный шлак, зола-унос ТЭС и др.; газообразующие добавки, вспучивающие смесь, — *алюминиевая пудра* (преим.), порохобразные цинк и магний, перекись водорода. Газообразование, скорость схватывания и твердения регулируют введением известки-кипелки, поверхностно-активных веществ, гипса, а также составом смеси. Gd впервые получен в начале 20 в. в США. Различают его по виду вяжущего (*газозолабетон*), по виду кремнеземистого компонента (*газозолобетон*) и способу технологической обработки — автоклавный (твердеющий в автоклавах) и неавтоклавный (пропариваемый в камерах). Автоклавный Gd характеризуется более высокими физико-мех. св-вами, в нем можно использовать низкоактивные вяжущие. Gd подразделяют на теплоизоляционный (объемная масса в сухом состоянии до 500 кг/м^3 , прочность на сжатие до 35 кгс/см^2), конструктивно-теплоизоляционный ($500\text{—}900 \text{ кг/м}^3$, $35\text{—}75 \text{ кгс/см}^2$) и конструктивный (объемная масса в сухом состоянии — более 900 кг/м^3 , прочность на сжатие более 75 кгс/см^2). Пористость Gd. $35\text{—}89\%$, теплотехни-

еские св-ва такие же, как и у др. ячеистых бетонов. Произ-во изделий из Г. заключается в приготовлении смеси, заполнения ею металлических форм и тепловой обработке отформованных изделий (в автоклавах, пропарочных камерах или посредством электр. тока). В процессе смешивания и вспучивания смесь подвергают вибрации. Прогрессивна технология, по к-рой газобетонный массив до тепловой обработки разрезают на элементы — изделия. Из Г. изготавливают панели, плиты и блоки для ограждающих конструкций жилых и пром. зданий. Используют его также для теплоизоляции трубопроводов и звукопоглощающих устройств.

Лит.: Григорьев Е. Г., Сатин М. С., Дерябин И. М. Жилые дома из газобетона. М., 1962; Кривицкий М. Я. Заводское изготовление изделий из газобетона. М., 1963; Данилов Б. П., Богданов А. Ограждающие конструкции из ячеистого бетона переменной плотности. М., 1973.

А. А. Волянский.

ГАЗОВОЕ ЦИАНИРОВАНИЕ — то же, что и *нитроцементация*.

ГАЗОГИПС — строительный материал, получаемый в результате твердения смеси *строительного гипса*, газообразующих добавок и воды; разновидность *ячеистого бетона*. Для регулирования скорости *схватывания* гипса и улучшения газодерживающего св-ва смеси вводят различные поверхностно-активные вещества. Газообразующие добавки, вспучивающие смесь: двууглекислый натрий; мел (или доломит) и серная к-та; карбонатная глина и сернокислый алюминий марки БМ; суперфосфат и мел. Г. впервые получен в 90-х гг. 19 в. в США. Осн. св-ва Г.: объемная масса в сухом состоянии 500—800 кг/м³, прочность на сжатие 10—26 кгс/см², водопоглощение 36—38 об.%, коэфф. теплопроводности в сухом состоянии 0,12—0,16 ккал/м · ч · град. Г. выдерживает более 10 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Произ-во изделий из Г. заключается в затворении гипса водой, введении (до или во время затворения) газообразующих добавок, перемешивании смеси в пропеллерных мешалках (0,5—2 мин), заполнении ею форм и сушке (естественной или искусственной) отформованных из-

делий. Из Г. изготавливают скорлупы, плиты и термовкладыши для теплоизоляции строительных конструкций в сухих условиях, межкомнатных перегородок и т. п.

Лит.: Осадчук Я. Э. Пористые гипсовые материалы. К., 1955; Пянухтин А. Г. Строительный гипс в стеновых конструкциях малоэтажных зданий. М., 1959; Слободяник И. Я. Строительные материалы и изделия. К., 1966.

Я. Э. Осадчук.

ГАЗОЗОЛОБЕТОН — бетон, получаемый в результате твердения смеси *портландцемента* (преим.), *золы-уноса* ТЭС, *алюминиевой пудры* и воды; разновидность *газобетона*. Скорость *схватывания* и твердения газозолобетонной смеси регулируют введением добавок дву- или полуводного гипса, *жидкого стекла*, различных поверхностно-активных веществ. Газообразование, обуславливающее вспучивание смеси, интенсифицируют добавлением молотой негашеной *извести*. Производство и применение Г. началось в 30-х гг. 20 в. в Швеции.

Различают Г. теплоизоляционный (объемная масса в сухом состоянии до 500 кг/м³, прочность на сжатие до 35 кгс/см²), конструктивно-теплоизоляционный (500—900 кг/м³, 35—75 кгс/см²) и конструктивный (объемная масса в сухом состоянии 900—1200 кг/м³, прочность на сжатие более 75 кгс/см²). У Г. с объемной массой 650—1100 кг/м³ водопоглощение 40—39 об.%. Коэфф. теплопроводности Г. с объемной массой 400 и 1200 кг/м³ в сухом состоянии равен соответственно 0,09 и 0,33 ккал/м · ч · град. Г. выдерживает более 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Произ-во изделий из Г. заключается в приготовлении смеси, заполнении ею металлических форм и тепловой обработке отформованных изделий (в автоклавах, пропарочных камерах или с помощью электр. тока). Из Г. изготавливают панели, плиты, блоки для жилых и пром. зданий и сооружений.

Лит.: Баранов А. Т., Бужевич Г. А. Золобетон ячеистый и плотный. М., 1960.

Я. Э. Осадчук.

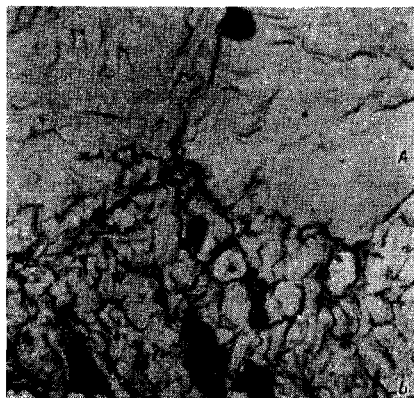
ГАЗОЗОЛОСИЛИКАТ — строительный материал, получаемый в резуль-

тате твердения смеси известкового вяжущего, золы-уноса ТЭС, газообразующих добавок и воды; разновидность *газосиликата*. Газообразующей добавкой, вспучивающей смесь, служит преим. *алюминиевая пудра*. Производство и применение Г. началось в 30-х гг. 20 в. в Швеции и Польше.

Г. подразделяют на теплоизоляционный (объемная масса в сухом состоянии до 500 кг/м^3 , прочность на сжатие до 35 кгс/см^2), конструктивно-теплоизоляционный ($500\text{—}900 \text{ кг/м}^3$, $35\text{—}75 \text{ кгс/см}^2$) и конструктивный (объемная масса в сухом состоянии $900\text{—}1200 \text{ кг/м}^3$, прочность на сжатие $75\text{—}100 \text{ кгс/см}^2$). Коэфф. теплопроводности Г. равен $0,08\text{—}0,20 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$, водопоглощение $26\text{—}42 \text{ об.}\%$. Г. выдерживает 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Произ-во изделий из Г. заключается в помоле вяжущего (раздельно или совместно с золой), приготовлении смеси, заполнении ею металлических формы и обработке изделий в автоклаве (давление пара 8 ат). В процессе смешивания и вспучивания смесь подвергают вибрации. Газозолосиликатный массив перед тепловой обработкой разрезают на отдельные элементы — изделия. Из Г. изготовляют плиты для теплоизоляции и звукопоглощающих устройств, блоки и панели для ограждающих конструкций жилых и пром. зданий. Лит.: Горьайнов К. Э. [и др.]. Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов. М., 1966. Т. Т. Троцко.

ГАЗОПЛАМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ — покрытия из материала, расплавленного или оплавленного в газовом пламени и нанесенного на поверхность изделий; вид *защитных покрытий* и *декоративных покрытий*. Различают Г. п. металлические, неметаллические и композиционные; легкоплавкие ($t_{\text{пл}} 80\text{—}500^\circ \text{C}$) и тугоплавкие ($t_{\text{пл}} 500\text{—}1200^\circ \text{C}$); антикоррозионные (см. *Антикоррозионные покрытия*), антифрикционные (см. *Антифрикционные материалы*), износостойкие (см. *Износостойкие покрытия*), фрикционные (см. *Фрик-*

ционные материалы), химически стойкие (см. *Химически стойкие материалы*), электроизоляционные (см. *Электроизоляционные материалы*) и др. Чтобы сцепление поверхности металлических или неметаллических изделий с наносимым материалом было прочным, их поверхность очищают, удаляя окисные пленки, и делают ее шероховатой с помощью пескоструйной или дробеструйной (менее токсичной) обработки, хим. травления, мех. и электроискровой обработки, электро-гидравлического удара. Для нанесения Г. п. материал (в виде порошка, проволоки, прутков или гибкого шнура — полиэтиленовой оболочки, наполненной наносимым материалом) вводят в пламя горелки, создаваемое ацетилено-воздушной, ацетилено-кислородной, пропан-бутан-воздушной, пропан-бутан-кислородной, водородно-кислородной либо др. горючей смесью. Расплавленные или оплавленные частицы материала подхватываются потоком газа и, достигая поверхности изделия, тормозятся о нее, изменяя во время удара свою форму и отдавая тепло. Покрытие образуется последовательной укладкой множества частиц, отличающейся стойкой слоистой структурой (рис.). Толщина покрытий от 0,05 до нескольких миллиметров. При создании Г. п. используют установку «УПН-4У» со сменными горелками (для напыления порошков легкоплавких и тугоплавких материалов), установку «УПН-4Л» (для легкоплавких Газопламенное покрытие из меди (А) на вольфраме (Б), $\times 11\,000$.



материалов). Для напыления проволоки и прутков применяют металлизационный прутковый аппарат «МГП». Установка для порошкового напыления расходует $0,2 \div 0,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ сжатого воздуха, до 1700 л/ч ацетилена и до 1900 л/ч кислорода, ее пропускная способность (количество распыленного порошка) — $1,5 \div 2,5 \text{ кг/час}$. Аппарат для напыления прутков состоит из устройства для распыления, имеющего вид «пистолета», и приводного механизма, соединенных между собой гибким валом. Скорость подачи прутков $50 \div 1000 \text{ мм/мин}$, рабочее давление ацетилена $0,8 \div 1,0 \text{ кгс/см}^2$, рабочее давление кислорода $4 \div 5 \text{ кгс/см}^2$, расход ацетилена $250 \div 600 \text{ л/ч}$, расход кислорода $1500 \div 1700 \text{ л/ч}$. Температурный режим напыления определяется т-рой плавления наносимого материала и регулируется расходом горючей смеси, размерами фракций этого материала. От температурного режима зависит и дистанция напыления — расстояние от среза форсунки горелки до поверхности изделия. Чтобы повысить в системе изделие — покрытие прочность сцепления и уменьшить напряжение, изделие с покрытием подвергают термообработке в вакууме, инертной среде или водороде (в зависимости от материала изделия и покрытия). Термообработка повышает также плотность покрытий. Структура и св-ва покрытия зависят от св-в наносимого материала и параметров нанесения. Г. п. в значительной степени продлевают срок службы изделий, что окупает затраты на создание покрытий.

Лит.: Долгичер Л. З., Морковкин А. А., Черняк В. С. Аппаратура и оборудование для газопламенной обработки металлов. М., 1953; Гусов С. Г., Стрижевский И. И. Техника безопасности при газопламенной обработке металлов. М., 1962; Получение покрытий высокотемпературным распылением. М., 1973; Кречмар Э. Напыление металлов, керамики и пластмасс. Пер. с нем. М., 1966.

В. Г. Зильберберг, Д. М. Карпинос.
ГАЗОПОГЛОТИТЕЛИ — то же, что и *геттеры*.

ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ — свойство материала пропускать через себя газы при наличии перепада давления. Выражается количеством газа, проходящим в единицу времени через единицу поверхности материала

при перепаде давления, равном единице. Характеризуется коэфф. проницаемости соответствующего газа: воздуха (воздухопроницаемость), водорода (водородопроницаемость) и др. При малых перепадах давления удельный расход газа определяют по ф-ле

$$V = k \frac{\tau}{\mu} \cdot \frac{s}{h} \Delta p, \quad (1)$$

где V — удельный расход газа (через единицу поверхности материала в единицу времени); k — абс. коэфф. проницаемости, зависящий от структурных характеристик материала (в частности, его *пористости*); τ — время течения газа; μ — вязкость газа; s и h — соответственно площадь поверхности и толщина образца материала; Δp — перепад давления, при к-ром определяют расход газа. За величину абс. коэфф. k обычно принимают проницаемость, при к-рой через образец материала с проницаемой поверхностью 1 см^2 и толщиной 1 см при перепаде давления в 1 атм за 1 сек проходит 1 см^3 газа, вязкость к-рого равна 1 спз . Абс. коэфф. проницаемости материала вычисляют, исходя из экспериментально определяемого расхода газа, проходящего через образец материала, размеры к-рого известны. Измерив на спец. установке расход газа при различных перепадах давления, строят зависимость $V = f(\Delta p)$, к-рая в предположении справедливости ф-лы (1) линейна (рис. на с. 244). Тангенс угла между прямой и осью абсцисс характеризует абс. коэфф. проницаемости материала. Таким способом, без учета плотности газа, оценивают проницаемость пористых материалов с погрешностью до 10%. Для более точного определения абс. коэфф. проницаемости материала учитывают как вязкость, так и плотность газа. Г. — одна из осн. физ. характеристик пористых материалов различного назначения, а также формовочных материалов. Присуща также твердым беспористым материалам, в частности металлам. При т-ре 20°С абс. коэфф. проницаемости пористых материалов составляет

10^{-3} — 10 , жидкости — 10^{-9} — 10^{-5} , стекла — 10^{-17} — 10^{-12} , металлов — 10^{-20} — 10^{-14} . Г. металлов быстро увеличивается с повышением т-ры газа. В технике большое значение имеет их водородопроницаемость. Скорость диффузии водорода через металл связана с парциальным давлением газа той же зависимостью, что и его растворимость в металле, подчиняясь закону квадратного корня. Водородопроницаемость металлов в твердом состоянии определяется их кристаллической структурой.

Так, альфа-железо (см. Железо) более проницаемо для водорода, чем гамма-железо. При десорбции из железа водорода с помощью вакуумирования или с понижением т-ры газ выделяется в чистом виде. Алюминий и медь также проницаемы для водорода. При производстве изделий из алюминия водяной пар, адсорбированный (см. Адсорбция) на его окисленной поверхности, является источником дополнительного количества водорода, проникающего в металл при термической обработке и термохимической обработке. Большой водородопроницаемостью отличаются палладий и его сплавы, используемые для получения сверхчистого водорода. Материалы, непроницаемые для газов, служат для герметизации стенок, соединений и внутренних объемов аппаратов, машин и сооружений. Герметичность обеспечивается применением уплотнительных прокладок из асбеста, свинца и др. материалов. См. также Проницаемость материалов.

Лит.: Лейбензон Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М.—Л., 1947; Киселев И. И. Основы уплотнений в арматуре высокого давления. М.—Л., 1950; Королев В. И. Основы вакуумной техники. М.—Л., 1964; Беркман А. С., Мельникова И. Г. Пористая проницаемая керамика. Л., 1969; Стеженский А. И., Лукьянчиков В. С., Русаков Г. В. Получение высокочистого водорода в диффузионных установках. К., 1970. А. Г. Кострюков.

ГАЗОСИЛИКАТ — строительный материал, получаемый при автоклавном твердении смеси известкового вяжу-

щего, тонкодисперсного кремнеземистого компонента, газообразующих добавок и воды; разновидность ячеистого бетона. Кремнеземистыми компонентами служат кварцевый песок, маршаллит, зола-унос ТЭС и др., газообразующей добавкой, вспучивающей смесь, является *алюминиевая пудра*. Скорость схватывания и твердения Г. регулируют добавлением двуводного гипса, мыла, нафта, хозяйственного мыла и др. Произ-во и применение Г. началось в конце 20-х гг. 20 в. в Швеции. Г. подразделяют на теплоизоляционный (объемная масса в сухом состоянии до 500 кг/м^3 , прочность на сжатие до 35 кгс/см^2), конструктивно-теплоизоляционный (500 — 900 кг/м^3 , 35 — 75 кгс/см^2) и конструктивный (объемная масса в сухом состоянии 900 — 1200 кг/м^3 , прочность на сжатие 75 — 100 кгс/см^2). Коэфф. теплопроводности Г. равен $0,08$ — $0,3 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$, водопоглощение 26 — 42 об. %. Г. выдерживает 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Произ-во изделий из Г. заключается в совместном или раздельном помолу извести-кипелки и кремнеземистого компонента, приготовления смеси, заполнения ею металлических форм и тепловой обработке отформованных изделий в автоклаве (при давлении пара не ниже 8 ат). В процессе смешивания и вспучивания смесь подвергают вибрации. Прогрессивна технология, по к-рой газосиликатный массив перед тепловой обработкой разрезают на элементы — изделия. Из Г. изготовляют плиты для теплоизоляции и звукопоглощающих устройств, блоки и панели для ограждающих конструкций. См. также Газозолосиликат. Лит.: Хавкин Л. М., Крыжановский Б. В. Силикатобетонные панели для сборного домостроения. М., 1964. Т. Т. Троцко.

Зависимость удельного расхода газа (газопроницаемость) от перепада давления.



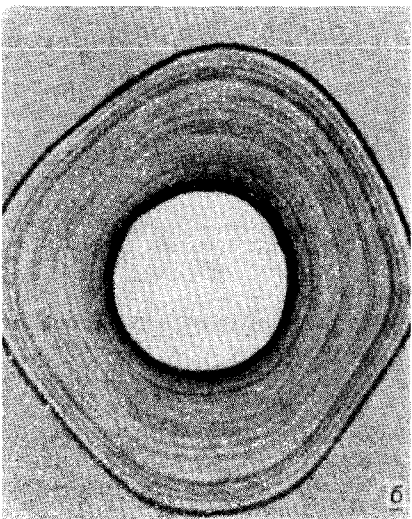
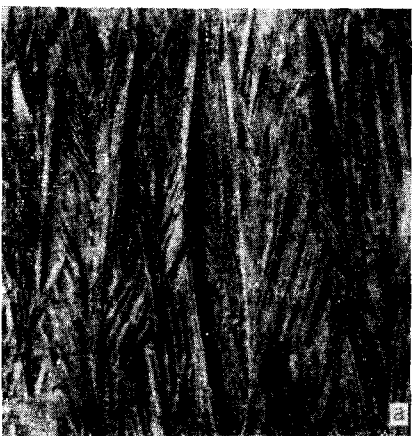
взаимодействия паров летучих соединений металлов и неметаллов с поверхностью нагретых изделий; вид *защитных покрытий* и покрытий спец. назначения. При формировании Г. п. происходит разложение или восстановление паров летучих соединений с образованием твердофазных и газообразных продуктов. Твердофазные продукты оседают на поверхности изделия, образуя покрытие, а газообразные продукты, как правило, непрерывно удаляются. Газофазным осаждением наносят металлы (в особенности тугоплавкие), их сплавы, *металлиды*, некоторые кислородсодержащие и бескислородные тугоплавкие соединения, покрытия на основе *окислов*, *карбидов*, *боридов*, *нитридов*, *силицидов*, *керамико-металлических материалов*. Наряду с покрытиями на основе материалов высокой чистоты этим методом получают стехиометрические соединения, выращивают эпитаксиальные слои (см. *Эпитаксия*), *монокристаллы*. Различают процессы создания Г. п. высокотемпературные (т-ра выше 800° С) и низкотемпературные (т-ра ниже 600—800° С). При высокотемпературном процессе образование Г. п. происходит вследствие термического разложения паров неорганических соединений, гл. обр. *фторидов*, *хлоридов*, *бромидов* и *йодидов*. Для получения покрытий в виде сплавов смешивают пары хим. соединений нескольких металлов. При нанесении тугоплавких соединений используют смесь пара, в к-рую наряду с галогенидами металлов вводят добавки, содержащие (в соответствии с получаемым соединением) углерод, азот, бор, кислород или кремний. Высокотемпературный процесс покрытия изделий ниобием из его йодида осуществляют по схеме $NbI_{5(газ)} \rightarrow Nb_{(тв.)} + I_{2(газ)}$ (т-ра 800—1200° С); покрытия вольфрамом из его фторида — по схеме $WF_{6(газ)} + H_{2(газ)} \rightarrow W_{(тв.)} + HF_{(газ)}$ (т-ра 650° С); покрытия силицидом молибдена из хлоридов молибдена и кремния — по схеме $MoCl_{5(газ)} + SiCl_{4(газ)} + H_{2(газ)} \rightarrow MoSi_{2(тв.)} + HCl_{(газ)}$

(т-ра 800—1400° С); покрытия карбидом титана из его хлорида и бензола — по схеме $TiCl_{4(газ)} + C_6H_{6(газ)} + H_{2(газ)} \rightarrow TiC_{(тв.)} + HCl_{(газ)}$ (т-ра 900—1200° С); покрытия нитридом бора из его хлорида и аммиака — по схеме $BCl_{3(газ)} + NH_{3(газ)} \rightarrow BN_{(тв.)} + HCl_{(газ)}$ (т-ра 1100—1400° С); покрытия окисью алюминия из его хлорида — по схеме $AlCl_{3(газ)} + H_{2(газ)} + CO_{2(газ)} \rightarrow Al_2O_{3(тв.)} + HCl_{(газ)} + CO_{(газ)}$ (т-ра 800—1400° С). При низкотемпературном процессе используют металлоорганические и гидридные соединения, карбонилы, диэтилы и др. Созданы металлоорганические соединения, позволяющие получать (наряду с чистыми металлами) некоторые окислы, карбиды и боронитриды без введения добавок, используя компоненты самих молекул. Низкотемпературный процесс покрытия изделий алюминием из его триизобутила осуществляют по схеме $Al(C_4H_8)_3(газ) \rightarrow Al_{(тв.)} + C_4H_{8(газ)}$ (т-ра 250° С); покрытия окисью кремния из его тетраэтоксисилана — по схеме $Si(OC_2H_5)_4(газ) \rightarrow SiO_{2(тв.)} + H_2O_{(газ)} + C_2H_4(газ)$ (т-ра 700—800° С); покрытия карбидом молибдена из его карбонила — по схеме $Mo(CO)_6(газ) \rightarrow Mo_2C_{(тв.)} + CO_{(газ)}$ (т-ра 350—800° С). Выбор оптимальной технологической схемы и оборудования обуславливается формой изделия, видом покрытия и требованиями к нему, составом и физико-химическими св-вами летучего соединения. Чаще всего Г. п. получают методом потока, по к-рому термическое разложение осуществляют в нейтральной либо восстановительной среде, а также в вакууме. Применяемая для термического разложения установка состоит из трубы или камеры (с вмонтированными вращателями изделий и нагревательными устройствами — электр. печью, индуктором или электроннолучевым подогревателем); испарителя летучего соединения; устройства для

подачи нейтрального или восстановительного газа (для вакуумирования используют спец. насосы). При нанесении многокомпонентных покрытий применяют несколько испарителей (потоки газов смешиваются у поверхности изделия). Газообразные соединения (напр., силан, гексафторид вольфрама, бороводород) подают в установку непосредственно из баллонов. Если процесс происходит при давлении смеси около 1 ат, нейтральный или восстановительный газ служит носителем паров, продукты реакции проходят через улавливатель. При нанесении покрытий в узких каналах или трубах применяют резистивный либо зонный нагрев изделий с подачей смеси пара вовнутрь. Для покрытия поверхности порошков металлом или тугоплавким соединением их нагревают во взвешенном («кипящем») слое, в который одновременно подают газопаровую смесь. В статических условиях (в термостатированном замкнутом объеме) покрытия осаждают, используя принудительную циркуляцию или конвекцию газопаровой смеси. Скорость осаждения покрытий определяется скоростью суммарной гетерогенной хим. реакции и зависит от т-ры изделия, концентрации компонентов в газопаровой смеси и скорости ее подачи. При осаждении металлов и тугоплавких материалов (карбидов и др.) из неорганических соединений скорость осаждения составляет $0,05 \div 2$ мм/ч, толщина слоя $0,01 \div 3$ мм (т-ра осаждения соответственно 550—1200 и 850—1400° С). Если используют металлоорганические соединения, скорость осаждения достигает 1 мм/мин, толщина слоя 0,1—100 мкм, т-ра процесса 200—700° С. При восстановлении, напр., гексафторида вольфрама водородом (т-ра осаждения 650° С, скорость осаждения 0,2 мм/ч) образуются покрытия из вольфрама, плотность которых составляет $19,28$ г/см³, прочность 23 кгс/мм², твердость 55 HRC, размер зерна около 8 мкм, т-ра пластично-хрупкого перехода 230° С, структура покрытия — нитевидная (рис., а). При разложении в вакууме (т-ра 400° С)

металлоорганических соединений молибдена, вольфрама, хрома и никеля образуются резистивные пленки толщиной 300 Å с управляемым (легированием их углеродом) в очень большом диапазоне поверхностным удельным сопротивлением и стабильными вольтамперными характеристиками. При совместном разложении йодидов ниобия и олова (т-ра

Микроструктура газофазных покрытий: а — вольфрама, полученного восстановлением его гексафторида при температуре 650° С, $\times 200$; б — слоистого пирографита, полученного разложением метана на частицах диоксида урана при температуре 1400° С, $\times 300$.



осаждения 1000° С, скорость осаждения 100 мкм/ч) образуется стехиометрический сверхпроводник Nb₃Sn, содержащий 75 ат. % Nb, с т-рой перехода 15—18 К. В «кипящем слое» разложением метана (т-ра осаждения 1400° С, скорость осаждения 50 мкм/ч) на частицы дикарида урана наносят непроницаемый слоистый *пирографит*, размер зерна к-рого 30 Å, плотность 1,8 г/см³ (рис., б). На стальные изделия из смеси хлорида титана, бензола и водорода (т-ра осаждения 900—1000° С, скорость осаждения 50 мкм/ч) наносят мелкозернистые (1—3 мкм) покрытия карбида титана с *микротвердостью* 4000 кгс/мм². *Износостойкость* таких покрытий выше износостойкости закаленных сталей (в 10—30 раз) и спеченного карбида титана (примерно в два раза). К тому же они предотвращают *схватывание* обрабатываемого металла с поверхностью резца. Технология «кипящего» слоя используется для нанесения на частицы *ядерного горючего* слоя пирографита, карбидов кремния, циркония, окислов алюминия или бериллия, защищающих частицы от окисления и предотвращающих вылет осколков деления, а также для *металлизации* порошков, напр. алмазных. Большинство других Г. п. также характеризуется ценными свойствами: *прочностью, жаростойкостью, коррозионной стойкостью, кислотостойкостью, щелочестойкостью*. Г. п. применяют в радиоэлектронном приборостроении — для защиты анодов мощных ламп (вольфрамом), изготовления полупроводниковых пленок, резисторов (из вольфрама, *нихрома*, керметов), окисных диэлектриков, коммутационных пленок, сверхпроводящих покрытий; в машиностроении — для увеличения стойкости стального и твердосплавного режущего инструмента. Г. п. используют также для защиты узлов трения приборов, фильер, насосов, штампов (износостойкими тугоплавкими покрытиями), графитовых сопел реактивных двигателей (вольфрамом, карбидом бора), лопаток турбин (жаростойкими силицидами, алюминидами).

Лит.: Р а з у в а е в Г. А. [и др.]. Металлоорганические соединения в электрохимии. М., 1972; К о р з о В. Ф., К у-

р о ч к и н В. А., Д е м и н В. П. Пленки из металлоорганических соединений в радиоэлектронике. М., 1973; С а м с о н о в Г. В., Э п и к А. П. Тугоплавкие покрытия. М., 1973; Р а к о в Э. Г., В е л е ш к о Н. А. Получение покрытий и изделий из вольфрама водородным восстановлением его гексафторида. «Атомная техника за рубежом», 1974, № 1; Ш е ф е р Г. Химические транспортные реакции. Пер. с нем. М., 1964; П а у э л л К. [и др.]. Осаждение из газовой фазы. Пер. с англ. М., 1970.

А. М. Гринько.

ГАЗОШЛАКОБЕТОН — бетон, получаемый в результате твердения смеси шлакового вяжущего, тонкодисперсного кремнеземистого компонента, газообразующих добавок и воды; разновидность *газобетона*. В качестве кремнеземистого компонента применяют кварцевый песок, гранулированный шлак, золу-унос ТЭС и др. Газообразующей добавкой, вспучивающей смесь, служит преим. *алюминиевая пудра*. В прои-з-ве Г. используют основные и кислые доменные шлаки, никелевые и титанистые шлаки, активизированные известью, *жидким стеклом*, содой или щелочами. Прои-з-во и применение Г. началось в 1960 в СССР (в г. Нижний Тагил). Г. подразделяют на автоклавный (твердеющий в автоклавах) и неавтоклавный (пропариваемый в камерах); теплоизоляционный (объемная масса в сухом состоянии до 500 кг/м³, прочность на сжатие до 35 кгс/см²), конструктивно-теплоизоляционный (500—900 кг/м³, 35—75 кгс/см²) и конструктивный (объемная масса в сухом состоянии более 900 кг/м³, прочность на сжатие более 75 кгс/см²). Коэфф. теплопроводности Г. равен 0,14—0,30 ккал/м · ч · град. Г. выдерживает более 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Прои-з-во изделий из Г. заключается в подготовке вяжущего (помолом шлака с активизатором), приготовлении смеси, заполнении ею металлических форм и тепловой обработке отформованных изделий (в автоклавах или пропарочных камерах). Из Г. изготовляют плиты, блоки и панели для жилых и пром. зданий.

Лит.: Р о з е н ф е л ь д Л. М., Н е й м а н А. Г., В а с и л ь е в а Т. Д. Автоклавная обработка, фазовый состав и

физико-механические свойства газошлакобетона. «Строительные материалы», 1965, № 11; Волженский А. В. [и др.]. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. М., 1969.

ГАЗОШЛАКОЗОЛОБЕТОН — бетон, получаемый в результате твердения смеси шлакового вяжущего, золы-уноса ТЭС, газообразующих добавок и воды; разновидность *газошлакобетона*. Газообразующие добавки, вспучивающие смесь: *алюминевая пудра*, перекись водорода и др. Произ-во и применение Г. началось в 1959 в СССР (в г. Донецке). Г. подразделяют на автоклавный (твердеющий в автоклавах) и неавтоклавный (пропариваемый в камерах); теплоизоляционный (объемная масса в сухом состоянии до 500 кг/м^3 , прочность на сжатие до 35 кгс/см^2), конструктивно - теплоизоляционный ($500—900 \text{ кг/м}^3$, $35—75 \text{ кгс/см}^2$) и конструктивный (объемная масса в сухом состоянии более 900 кг/м^3 , прочность на сжатие более 75 кгс/см^2). Коэфф. теплопроводности Г. равен $0,15—0,35 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$. Г. выдерживает более 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Произ-во изделий из Г. заключается в приготвлении смеси, заполнении ею металлических форм и тепловой обработке отформованных изделий (в автоклавах или пропарочных камерах). Из Г. изготовляют панели и блоки для ограждающих конструкций и внутренних перегородок жилых и пром. зданий.

Лит.: Бородинская Р. М. [и др.]. Безавтоклавный газозолошлакобетон. К., 1964; Волженский А. В. [и др.]. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. М., 1969.

ГАЗЫ (голл. *gaz*, от греч. *χαος* — бесформенное состояние) в металлах — газы, содержащиеся в металле в растворенном, молекулярном или адсорбированном состоянии. В растворенном состоянии газовый элемент входит компонентом в состав твердого или жидкого металла в атомарном, в частично ионизированном или (иногда) в мол. состоянии. В *твердых растворах* отдельные атомы газового элемента входят в состав кристаллической решетки металла, располагаясь преим.

в ее междоузлиях (твердый раствор внедрения, см. *Внедрения фазы*). *Растворимость* газов, за редкими исключениями, мала. Она растет с т-рой по экспоненциальному закону, где в показатель степени входит теплота растворения. Как правило, газы более растворимы в жидких металлах, чем в твердых (при точке плавления наблюдается резкое повышение растворимости; при затвердевании расплавов обычно происходит сильное газовыделение). При не очень высоких давлениях (порядка десятков или сотен атмосфер) растворимость пропорциональна корню квадратному из давления газа. Молекулярное (газообразное) состояние в закрытых *трещинах* и микропорах обычно образуется вследствие выделения газа из раствора (жидкого или твердого) при изменениях т-ры в сторону уменьшения растворимости (когда наступает пересыщение). В условиях приближения расплава к *кристаллизации*, когда *диффузия* атомов газового элемента в расплаве замедлена, а подвижность выделений газовой фазы (пузырьков) парализована большой вязкостью среды, эти выделения задерживаются внутри расплава в тем более дисперсном распределении, чем выше вязкость среды и чем резче снижение растворимости с т-рой. Выделение газового компонента из пересыщенного (при охлаждении) твердого раствора может создавать либо поры, либо трещины, в частности *флокены*. Переход атомов газового компонента из твердого раствора в микроазоры в *структуре металла* сопровождается переходом этого компонента в мол. состояние. При умеренно пониженных т-рах ($200—300^\circ \text{C}$) диссоциация молекул уменьшена до такой степени, что обратное растворение газа практически не происходит; в окружении же микроазора в твердом растворе возникает градиент концентрации, стимулирующий диффузионный поток растворенного газового компонента из более удаленных участков. Поэтому в микроазоре нарастает давление газа, которое может достигать многих сотен атмосфер. Возникающие при этом мех. напряжения могут вызвать начало разрушения, что приводит часто к катастро-

фическим последствием — полному разрушению материала деталей, конструкций или машин. Состояние хим. связанности возникает в *неметаллических включениях*, которые образуются внутри расплава, преимущественно в предкристаллизационный период, и, несмотря на разницу в плотностях, не успевают всплыть из толщ металла. Макроскопические вкрапления химически прочных соединений играют роль мех. неоднородностей, на периферии которых при внешнем нагружении материала могут возникать локальные перенапряжения, вызывающие его разрушение (особенно, если включения имеют плоскую или угловатую форму). Химически менее прочные соединения (напр., *гидриды*) могут при изменениях т-ры переходить в твердый раствор, изменяя его св-ва. Образование газовыми компонентами хим. соединений может происходить также по типу выделений *эвтектики*. Распределяясь по *границам зерен* осн. металла-растворителя, прослойки эвтектики обуславливают при нагреве возможность локального оплавления зерен по их периферии (этим обусловлено, напр., вредное влияние кислорода на мех. св-ва меди). Частный случай химически связанного состояния газа в металле возникает при т. н. *внутреннем окислении* (образование в толще приповерхностных слоев металла тонкодисперсных частиц хим. соединений при диффузии в эти слои растворяющегося газового компонента из внешней газовой среды). При *внешней адсорбции* (адсорбция на наружной поверхности металла, граничащей с внешней газовой средой) атомы газового компонента располагаются на поверхности упорядоченно, в положениях минимумов потенциальной энергии взаимодействия их с атомами, образующими наружную кристаллографическую плоскость металла. В очень высоком вакууме адсорбируемые атомы образуют плотно упакованные участки, разделенные полосами, свободными от адсорбируемых атомов, пока (при достаточно повышенном давлении газа — порядка $10^{-7} - 10^{-6}$ мм рт. ст.) не осуществится полное замещение всех возможных посадочных мест, определяемых кристаллографиче-

ским характером поверхности наружной грани металлического кристалла. После этого начинается образование первого кристаллического слоя соединения металла с газом. Следовательно, состояние внешней адсорбции представляет собой начальную стадию хим. реакций металла с адсорбируемым газом. Оно существенно влияет на взаимодействие металла с другими газами, ограничивая их активное действие. Внешней адсорбцией определяется образование пассивирующих (см. *Пассивирование*) пленок на металлах, в свою очередь определяющих электрохимическое поведение металлов, в частности в отношении задержки *коррозии металлов*. Особо важное значение состояние внешней адсорбции имеет при сильно развитой поверхности металла, как это наблюдается в процессах образования и обработки губчатого металла, в порошковой металлургии и т. п. Состояние *окклюзии*, наблюдаемое в ультрамикроскопических порах и каналах толщ металла, поперечные размеры которых малы сравнительно со средней длиной свободного пробега молекул газа, является промежуточным между атомарным состоянием внешней адсорбции на «поверхности» ультрамикроскопической поры или канала и мол. состоянием в объеме последних. Времена пребывания частиц газа в этих двух состояниях соизмеримы между собой. Окклюзия определяет начальную стадию образования пор или зародышевых трещин разрушения, или противоположных процессов — т. н. *залечивания микродефектов*, обуславливает отличие кинетики процессов хим. взаимодействия газовой среды с порошковыми металлами от взаимодействия газа с массивным металлом. Газы могут пребывать также в состоянии межкристаллитной внутренней адсорбции. Находясь в твердом растворе, газовые компоненты при некоторых условиях обогащают межкристаллитные сочленения (границы зерен) металла, не нарушая его однофазного состояния. Такая неравномерность распределения растворенного компонента обусловлена

избыточной энергией в межкристаллитных сочленениях и возможностью уменьшения этой энергии при замене части атомов металла-растворителя атомами растворенного компонента. При быстрых изменениях температуры в межкристаллитных сочленениях может наступить пересыщение и, как следствие, локальный распад твердого раствора. Повышенная восприимчивость границ зерен к растворенным компонентам проявляется также в предпочтительной межкристаллитной диффузии компонентов при насыщении металла из внешней среды. Если компоненты газоподобные, это оказывает вредное влияние при развитии высокотемпературной коррозии, проникающей на большую глубину в металл вдоль границ зерен и нарушающей связь между ними. Источниками насыщения металлов газами при выплавке являются газовая среда, соприкасающаяся с расплавом (напр., продукты сгорания топлива), и поверхностные слои аппаратуры, в которой производится выплавка (футеровка печей, материал тиглей и т. д.). Те же источники действуют и при нагреве металла в твердом состоянии в операциях горячей мех. и термической обработки, а также при сварке металлов. Особенно сильный источник газонасыщения образуется при электролитическом осаждении металла, сопровождающемся выделением водорода. В большинстве случаев газонасыщенность вредно сказывается на формировании св-в металлов, и с ней приходится бороться. Однако азот, иногда используемый как легирующий компонент, повышает прочность (нитридное упрочнение стали). Пути борьбы с газонасыщенностью металлов: при выплавке — введение в расплав добавок элементов (с большим хим. сродством к газовому компоненту), образующих соединения малой плотности, что ускоряет всплывание и удаление этих соединений из расплава; предотвращение или сведение к минимуму контакта металла с газовой средой при выплавке или при нагреве твердого металла (герметизация аппаратуры, в которой нагревают металл; использование нейтральной

среды или вакуума как в плавильных печах или в устройствах для разлива в изложницы либо формы, так и в печах для отжига твердого металла, отличающегося той или иной степенью газонасыщения).

Лит.: — Смителлс К. Газы и металлы. М. — Л., 1940; Галактионова Н. А. Водород в металлах. М., 1959; Карпенко Г. В., Крипакевич Р. И. Влияние водорода на свойства стали. М., 1962; Морозов А. Н. Водород и азот в стали. М., 1968; Методы определения и исследования состояния газов в металлах. М., 1968; Походня И. К. Газы в сварных швах. М., 1972.

В. И. Архаров.

ГАЛЕНИТ (от лат. *galena* — свинцовый блеск), PbS — минерал класса *сульфидов*. **Синоним:** свинцовый блеск. **Разности:** селенистый галенит; свинчак — тонкозернистый галенит с матовым блеском. **Хим. состав (%)**: Pb — 86,6; S — 13,4. Наблюдается совершенный **изоморфизм** серы и селена в изоморфном ряду PbS — $PbSe$. **Примеси:** серебро, висмут, сурьма, олово, цинк, медь, железо, кадмий и др. **Структура** координационная, сингония кубическая, вид симметрии гексоктаэдрический. Наиболее часто выделяется в виде зернистых и сплошных масс. Встречаются друзы и скелетные формы, а также натечные колломорфные образования. **Габитус** кристаллов кубический и октаэдрический. **Главные кристаллографические формы** $\{100\}$, $\{111\}$, $\{110\}$. Известны двойники срастания и прорастания по $\{111\}$. Встречаются полисинтетические двойники, возникающие при пластическом деформировании, а также эпитаксисческие срастания с блеклыми рудами, арсенопиритом, бурнонитом и золотом. **Спайность** (см. *Спайность минералов*) весьма совершенная по $\{100\}$. **Плотность** 7,4—7,6 г/см³. **Твердость** 2—3. **Хрупкий**. **Цвет** (см. *Цвет минералов*) свинцово-серый. **Черта** серовато-черная. **Блеск** (см. *Блеск минералов*) металлический. **Излом** (см. *Излом минералов*) плоский, у плотных разностей иногда полураковистый. **Непрозрачный**. Показатель отражения желтого света ($\lambda = 589$ нм) 44%. **Изотропный**. **Диамагнитный**. **Проводник** электричества. Обнаруживает положительный и отрицательный фотоэлектрический эффект. **Характерны** полупро-

ледниковые и детекторные св-ва. Г. — один из наиболее распространенных минералов гидротермальных, преим. средне- и низкотемпературных месторождений. В парагенезисе с ним обычно наблюдаются сфалерит, халькопирит, блеклые руды, бурнонит, пирит и др. В контактово-метасоматических месторождениях ассоциирует со *сфалеритом*, пиритом, пирротинитом и др. Отмечается как осадочно-диагенетическое образование, выделяясь в виде рассеянной вкрапленности в песчаниках, известняках, а также в ядрах конкреций. Установлено современное образование Г. из подземных рассолов и шахтных вод. Г. получают: действием сероводорода на хлористые соединения свинца; разложением сульфата свинца в среде водорода или окиси углерода; взаимодействием сульфата свинца с разлагающимися в воде органическими соединениями; нагреванием FeS_2 с раствором PbCl_2 , а также методом гидротермального синтеза. С Г. практически связана вся мировая добыча свинца. Попутно из него извлекают серебро и селен. Из галенитового концентрата получают *белила*, краски и др. хим. продукты.

Лит.: Минералы. Справочник, т. 1. М., 1960; Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Coleman R. G. The natural occurrence of galena-clausenite solid solution series. «The american mineralogist», 1959, v. 44. № 1—2.

С. А. Галий.

ГАЛЕЧНИК — рыхлая крупнообломочная (псефитовая) осадочная горная порода, состоящая в осн. из гальки с примесью гравия и песка. В зависимости от преобладающего размера гальки выделяют Г. мелкий (10—50 мм), средний (25—50 мм) и крупный (50—100 мм). По петрографическому составу Г. подразделяют на мономиктовый (галька одной породы), олигомиктовый (галька двух-трех пород) и полимиктовый (галька различных пород); по характеру материала, заполняющего пространство между гальками, различают Г. глинистый, песчаный и известковый; по текстурным признакам — слоистый (часто косо- и диагонально-слоистый) и неслоистый. Г. залегает в виде линз, слоев и пластов различной мощности. Образуется в морях, озерах и речных доли-

нах в результате перемыва ледниковых отложений, вследствие деятельности потоков воды в области предгорий, иногда как результат действия ветра. Петрографический состав, форма, расположение и ориентировка наклона гальки позволяют определить генетический тип Г., установить направление сноса обломочного материала и положение его в области размыва. Г. используют как строительный материал, гл. обр. в дорожном строительстве, а также в качестве *заполнителя* для бетонов. *Лит.:* Баженов Б. П. Анализ галечников как один из методов изучения земной коры. «Труды Всесоюзного заочного политехнического института», 1952, в. 1; Борсук О. А. Анализ щебнистых отложений и галечников при геоморфологических исследованиях. М., 1973.

В. П. Усенко.

ГАЛИТ (от греч. *ἅλς* — соль и *λίθος* — камень), NaCl — минерал класса *хлоридов*. Синоним: каменная соль. Разности: по происхождению — озерная соль, самосадочная соль, новосадка, старосадка, гранатка (рыхлые кристаллические осадки на дне современных соляных озер), синья соль, вулканическая соль; в зависимости от примесей или включений — трескучая соль (включения газов), уантахант (до 11% AgCl). Хим. состав (%): Na — 39,34; Cl — 60,66. Иногда содержит примеси серебра и брома. Структура координационная, сингония кубическая, вид симметрии гексоэдрический. Встречается в виде зернистых агрегатов, нередко отдельные кристаллы, друзы, волокнистые выделения, натечные корки, сталактиты, выцветы и пр. Кристаллы почти всегда кубические, реже октаэдрические. Для современных соляных озер характерны скелетные образования Г. — «лодочки», «соляные зубы». Двойники редки по (111). Мех. двойники образуются вследствие неоднородного сжатия при t -ре 500—600° С. Спайность (см. *Спайность минералов*) весьма совершенная по кубу. *Плотность* 2,1—2,2 г/см³. *Твердость* 2. Хрупкий. Прозрачный и бесцветный, иногда белый; примеси окрашивают его в

красный, желтый, серый, бурый или черный цвет (см. *Цвет минералов*). Голубая, синяя, фиолетовая, желтая окраска минерала возникает под воздействием радиоактивного излучения. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Обычно изотропный, но иногда слабо анизотропный (синий Г.). Показатель преломления $n = 1,544$. Г. — типичный хемогенный минерал, образующийся в результате испарения морской воды, при концентрации солей не менее 24—27%. Отлагается при различных физико-хим. условиях в ассоциации с хлоридами и сульфатами щелочных и щелочноземельных элементов. Известен среди осадочных пород различного возраста, где слагает мощные толщи, прослой и линзы. Встречается также в виде вкраплений в глинах и песчаниках. Иногда пластичные массы Г. под действием силы тяжести лежащих выше пород или складкообразовательных процессов выдавливаются в ослабленные зоны, образуя своеобразные соляные купола. В значительных количествах содержится в отложениях соляных озер, выделяется также в процессе вулканической деятельности. Г. образуется вследствие осаждения из водного раствора, а также при возгонке хлорида натрия. Г. — пищевой продукт и консервирующее средство, хим. сырье при произ-ве соды, хлора, соляной к-ты, натрия, едкого натра и др. солей. Входит в состав *флюсов*, используемых для очистки алюминия и др. цветных металлов. Крупные воднопрозрачные кристаллы применяются в оптических приборах.

Лит.: Фивег М. П. О геологических особенностях формирования соленосных толщ. В кн.: Соляные озера. Л.—М., 1952; В а л я ш к о М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М., 1962; М и н е р а л ы. Справочник, т. 2, в. 1. М., 1963; Л а з а р е н к о Е. К. Курс минералогии. М., 1971; И в а н о в А. А., В о р о н о в а М. Л. Галогенные формации. М., 1972; Д и р У. А., Х а у и Р. А., З у с м а н Дж. Породообразующие минералы, т. 5. Пер. с англ. М., 1966.

Е. П. Сливко.

ГАЛЛИЙ [Gallium; от лат. Gallia — Галлия (назв. Франции)], Ga — хим. элемент III группы периодической системы элементов;

ат. н. 31, ат. м. 69,72. Серебристо-белый металл с синеватым оттенком. В соединениях проявляет степени окисления +1, +2 и +3. Состоит из стабильных изотопов ^{69}Ga (61,2%) и ^{71}Ga (38,8%). Известно девять искусственных радиоактивных изотопов с периодом полураспада от нескольких минут до 83 ч (^{67}Ga). Существование и св-ва Г. предсказал в 1870 рус. ученый Д. И. Менделеев. Открыл Г. в 1875 франц. химик П. Э. Лекок де Буабодран. Содержание Г. в земной коре $1,5 \cdot 10^{-3}\%$. Встречается в виде изоморфной примеси в минералах алюминия, железа и цинка. Известен единственный минерал — галлит CuGaS_2 , встречающийся с германитом в очень малых количествах. Уникальная орторомбическая структура с периодами $a = 4,5258$, $b = 4,5186$ и $c = 7,6570$ Å при t -ре 297 К характеризуется образованием атомных пар Ga_2 и относительно слабой связью с остальными шестью атомами в ячейке. Это обуславливает увеличение плотности (с 5,9037 до 6,0947 г/см³) и уменьшение удельного электрического сопротивления (с 44,9 до 25,7 мком · см) при плавлении, а также большое переохлаждение перед кристаллизацией и аномально низкую t -ру плавления ($29,76 \pm 0,02^\circ \text{C}$). Монокристалл Г. анизотропен (см. *Анизотропия*). Электр. сопротивление по осям a , b и c (t -ра 20°C) равно 17,4; 8,1 и 54,3 мком · см и существенно зависит от давления. Теплопроводность по осям 0,0956; 0,2390 и 0,0478 кал/см · сек · град. У поликристаллического образца температурный коэффициент линейного расширения $2,0 \cdot 10^{-5}$, объемного $5,95 \times 10^{-5}$ град⁻¹. Теплоемкость (кал/г-атом · град) 5,97 (t -ра $22,8^\circ \text{C}$), 6,13 (температура 26°C) и 8,00 (t -ра 29°C). По твердости галлий ($2,5$ кгс/мм²) близок к золоту. Прочность на растяжение 2—3,8 кгс/мм². Поддается обработке давлением, в результате к-рого получают фольгу толщиной < 20 мк. Диамагнетик. Работа выхода электронов 4,12 эв. Отражательная способность от 60 до 73%. Для Г. характерна широкая область жидкого состояния

(тип 2237° С). Потенциалы ионизационных $Ga^0 \rightarrow Ga^+ \rightarrow Ga^{2+} \rightarrow Ga^{3+}$ соответственно 6,00; 20,43 и 30,60. Сечение захвата тепловых нейтронов 2,71 барн. Жидкий Г. — агрессивный металл, легко взаимодействующий при повышенной т-ре со всеми металлами (до т-ры 600° С не взаимодействует только с вольфрамом, рением, бериллием и танталом). Наличие у иона Г. псевдоинертной структуры обуславливает большую поляризуемость остова атома, чем у ионов, имеющих структуру инертного газа. Это приводит к образованию различных весьма стойких соединений, а также к меньшей основности его гидроокиси по сравнению со скандием. Известны два окисла Г.: Ga_2O_3 — вещество белого цвета и Ga_2O — вещество темно-коричневого цвета. Стойкая при т-ре до 400° С альфа-форма Ga_2O_3 (плотность 6,4 г/см³) — аналог $\alpha-Al_2O_3$. Известны модификации: $\beta-Ga_2O_3$ (моноклинная, плотность 5,9 г/см³), $\gamma-Ga_2O_3$ (шпинель), $\delta-Ga_2O_3$ (кубическая) и $\epsilon-Ga_2O_3$ (орторомбическая). Выше т-ры 800° С единственной стойкой формой является $\beta-Ga_2O_3$ (плавится при т-ре 1795° С без разложения). Модификация $\beta-Ga_2O_3$ получается при прокаливании гидроокиси, нитрата и органических соединений Г. Она плохо растворима в к-тах и основаниях. Нагреванием до т-ры 500° С в вакууме или инертной среде смеси Ga_2O_3 и Г. получают Ga_2O , сублимирующий выше т-ры 650° С. Особенностью взаимодействия Г. с халькогенами является образование соединений различной стехиометрии (Ga_2S , $GaXал$, $Ga_2Xал_3$, Ga_4S_5 , $GaTe_3$ и др.) при участии в связи всех или только части валентных электронов Г. Установлено большое число двойных *халькогенидов*, напр. $HgGa_2Te_4$. Халькогениды Г. стойки на воздухе, отличаются ценными физ. св-вами (фоточувствительностью, люминесценцией, полупроводниковыми св-вами). Соединения Г. типа A^3B^5 ценны полупроводниковыми св-вами: GaN ($t_{пл}$ 1500° С), GaP ($t_{пл}$ 1522° С), $GaAs$ ($t_{пл}$ 1237° С) и $GaSb$ ($t_{пл}$ 712° С). Ширина запрещенной зоны для них соответственно 3,25; 2,4; 1,53 и 0,80 эв. Эвтектические сплавы Г. имеют низкую

т-ру плавления (см. *Легкоплавкие сплавы*), в том числе бинарные (%): 2% Al (26,5° С), 5% Zn (25,4° С), 8% Sn (20,4° С), 22% In (15,8° С) и тройные, напр. 29% In + 4% Zn (13° С), 25% In + 13% Sn (10,5° С). Наиболее мощным потенциальным источником получения Г. служат растворы глиноземного произ-ва при переработке боксита и нефелина. Концентрация Г. в алюминатно-щелочном растворе после разложения в процессе Байера — 100—150 мг/л, по способу спекания — 50—65 мг/л. По этим способам Г. отделяют от большей части алюминия карбонизацией, концентрируя в последней фракции осадка. Затем обогащенный осадок обрабатывают известью, Г. переходит в раствор, откуда черновой металл выделяют, напр., электролизом. Г. можно получать переработкой полиметаллических руд и углей. Черновой Г. промывают водой и к-тами, затем фильтруют через пористые пластины и нагревают в вакууме, чтобы удалить летучие примеси. Для получения Г. высокой чистоты используют хим., электрохим. и физ. методы. Г. мало токсичный металл. Выпускают его в виде слитков цилиндрической формы массой ~250 и ~500 г в полиэтиленовой упаковке. Полупроводниковые соединения Г., особенно арсенид $GaAs$ и антимонид $GaSb$, нашли применение в электронике (туннельные диоды, транзисторы, варакторы — диоды с переменной емкостью, модуляторы в схемах СВЧ, усилители, преобразователи, диоды Ганна, солнечные элементы, электролюминесцентные диоды, лазеры). Созданы сверхпроводящие соленоиды из галлида ванадия. Добавки Г. улучшают мех. свойства некоторых сплавов. Получили применение *твердые пасты* на основе Г. и его легкоплавких сплавов, смешанных с порошками разных металлов и наполнителей. Сплавы $GaIn$ используют в радиационных контурах. Известны *катализаторы*, содержащие галлий.

Лит.: Шека И. А., Чаус И. С., Митюрева Т. Т. Галлий. К., 1963; Еремкин Н. И. Галлий. М., 1964; Яценко С. П. [и др.]. Свойства галлия в водных растворах и сплавах.

Свердловск, 1966; Дымов А. М., Савостин А. П. Аналитическая химия галлия. М., 1968; Иванова Р. В. Химия и технология галлия. М., 1973; Коган Б. И., Вершковская О. В., Славикова И. М. Галлий. М., 1973; Яценко С. П. Галлий. Взаимодействие с металлами. М., 1974.

С. П. Яценко.

ГАЛЛУАЗИТ [по имени бельгийского геолога Ж. Б. Омалиуса д'Аллау (J. B. Omalius d'Halloy)], $\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — минерал класса *силикатов*. Хим. состав (%): SiO_2 — 40,9; Al_2O_3 — 34,7; H_2O — 24,4. Легко обезвоживается, необратимо переходя в метagalлуазит с уменьшением периода c_0 структуры. Структура слоистая, сингония моноклинная, вид симметрии диэдрический бесосный. Г. обычно представлен микроскопическими кристалликами характерной вытянутой трубчатой формы размером от 0,5 до 10,0 мкм по длинной оси и от 0,04 до 0,20 мкм в поперечнике. Образует гелеподобные, восковидные, а при обезвоживании фарфоровидные плотные агрегаты. Физ. св-ва Г. зависят от степени дегидратации. Плотность 2—2,6 г/см³. Твердость 1—3. Цвет (см. Цвет минералов) белый, часто с голубым, серым или желтым оттенком. Блеск (см. Блеск минералов) свежих разностей восковой. Показатель преломления от 1,535 до 1,550, по мере дегидратации возрастает. Двупреломление очень низкое; почти изотропный (см. Изотропия). В воде размокает, способен образовывать пластичную массу и суспензию. Емкость катионного обмена от 5 до 50 мг-экв на 100 г. Г. образует органо-минеральные комплексы при замещении межслоевой воды нейтральными органическими молекулами (гликоля, глицерина и др.). Дифференциальная кривая нагревания Г. характеризуется эндотермическим эффектом при т-ре 120° С, эндотермическим эффектом при т-ре 550—580° С и экзотермическими эффектами при т-рах 980 и 1200° С, по характеру аналогичными каолиновым (кроме эндотермического эффекта при т-ре 120° С). Г. образуется в экзогенных условиях при выветривании алюмосиликатных пород, особенно *габбро*, *диабазов*, *порфири-*

тов и нефелиновых *сиенитов*. Достоверный искусственный аналог не получен. Г. — составная часть некоторых керамических глин, *катализаторов* и *наполнителей*. Лит.: Чухров Ф. В. [и др.]. О природе и генезисе галлуазитов. «Известия АН СССР. Серия геологическая», 1966, № 3; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Грим Р. Е. Минералогия глин. Пер. с англ. М., 1959. Ю. А. Русько.

ГАЛОГЕНИДЫ [от греч. *ἅλς* (*ἅλς*) — соль, *γεννάω* — рождать и *εἶδος* — вид, род] — соединения галогенов (*фтора*, *хлора*, *брома*, *йода*) с др. хим. элементами. Многие Г. (поваренная соль, сулема) использовались с давних времен. В 18—19 вв. Г. стали сырьем для получения щелочных металлов, алюминия и др. Формула простейших галогенидов $\text{Э}^n\text{Гал}_n^-$ (Э — элемент, Гал — галоген), где макс. n соответствует номеру группы элемента в периодической системе элементов. Соединения с миним. n наз. с у б г а л о г е н и д а м и. Различают смешанные Г., содержащие атомы различных галогенов (HgClBr , SiF_3Cl , SnCl_2I_2 и т. д.), и сложные Г., содержащие др. атомы и атомные группировки (NH_2HgCl , SOCl_2 и т. д.). Г. могут взаимодействовать между собой, образуя двойные соли (напр., KMgCl_3) и комплексные соединения (Na_3AlF_6 , $\text{K}_2\text{PtCl}_2\text{Br}_2\text{I}_2$ и т. д.), и с др. веществами, образуя комплексные соединения, напр. $\text{Zn}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_2$, кристаллогидраты ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaBr} \times \times 2\text{H}_2\text{O}$ и др.), и сольваты, напр. $\text{AlCl}_3 \cdot 2(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$. В зависимости от природы связи Э—Гал, Г. бывают газами (напр., ClF_3 , BF_3 , SF_6 , HCl , HI), жидкостями (напр., TiCl_4 , SbCl_5 , BBr_3 , CBr_4) и твердыми веществами (напр., NaF , TiBr_4 , Cl_4). Газообразные и жидкие Г. по физ. св-вам относятся к молекулярным соединениям. Твердые Г. имеют молекулярную (Cl_4 , SbBr_5) или ионную (NaCl , CaF_2) структуру и при плавлении образуют соответственно молекулярные и ионные жидкости. Термическая устойчивость Г. уменьшается от *фторидов* к *йодидам*. Для одного и того же элемента т-ра плавления и т-ра кипения ионных Г. в осн. понижаются от фторидов к йодидам, а молекулярных Г. — возрастают. Для главных подгрупп пе-

риодической системы элементов при увеличении атомного номера элемента т-ра плавления и т-ра кипения нонных Г. чаще всего понижаются, а молекулярных Г. повышаются. Если элемент образует несколько соединений с одним галогеном, то уменьшение валентности элемента приводит к увеличению полярности связи Э—Гал и т-ры плавления (т-ра плавления SnCl_4 составляет -36°C , т-ра плавления SnCl_2 равна 247°C). Большинство Г. бесцветно. Цвет окрашенных Г. часто определяется природой атома элемента (NiCl_2 — желто-зеленый, MnCl_2 — розовый и т. д.). При переходе от фторидов к йодидам окраска Г. углубляется (TiCl — бесцветный, TlBr — желтоватый, TlI — желтый или красный). Для Г. характерен полиморфизм. При полиморфных превращениях часто образуются фазы с уникальными св-вами (напр., твердые электролиты). По хим. св-вам Г. подразделяют на солеобразные — ионные (напр., NaF , LaCl_3 , NaSbCl_6 , CsI , K_2HgI_4), несолеобразные (молекулярные) — галогенангидриды (напр., PCl_5 , SOCl_2 , SiCl_4) и нейтральные (напр., CCl_4 , SF_6 , OsF_8). Солеобразные Г., за некоторым исключением (CaF_2 , AgI , AgCl , AgBr), хорошо растворимы в воде и несколько хуже — в полярных растворителях. Несолеобразные Г. смешиваются между собой и с молекулярными жидкостями. Нейтральные Г. нерастворимы в воде, галогенангидриды взаимодействуют с нею, образуя две кислоты, напр. $\text{PCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{HCl}$. Простые Г. образуются при взаимодействии элементов с галогенами. Соединения галогенов друг с другом, получаемые по этому методу, наз. межгалогидными соединениями. Г. получают также при взаимодействии элемента, его окисла или гидрата окисла с галогенводородом или др. Г.; галонированием окисла, карбида и т. п. при наличии углерода или др. восстановителя; диспропорционированием Г. (напр., $3\text{TiCl}_2 = \text{Ti} + 2\text{TiCl}_3$) или взаимодействием элемента с Г. (напр., $\text{Ti} + \text{TiCl}_4 = 2\text{TiCl}_2$). Г. используют в качестве исходного сырья для получения галогенов и соответствующих металлов, в произ-ве галогено-

водородов (напр., соляной к-ты), щелочей, соды и др. Г. и их смеси применяют как электролиты в электрометаллургии (получение и рафинирование магния, алюминия, редкоземельных элементов и т. п.), в литейном произ-ве и при дуговой или электрошлаковой сварке (флюсы, водорастворимые стержни), при разделении редких элементов, как теплоносители, в процессе получения сверхчистых веществ и др. Г. используют как среды и рабочие вещества в высокотемпературных регенеративных и топливных элементах и в термопреобразователях, в качестве растворителей при выращивании монокристаллов. См. также Бромиды, Хлориды.

Лит.: Баймаков Ю. В., Ветюков М. М. Электролиз расплавленных солей. М., 1966; Некрасов Б. В. Основы общей химии, т. 1—2. М., 1973; Юсти Э., Винзель А. Топливные элементы. Пер. с нем. М., 1964; Синтезы неорганических соединений, т. 1—3. Пер. с англ. М., 1966—1970; Рипан Р., Честяну И. Неорганическая химия, т. 1—2. Пер. с румын. М., 1971—1972.

С. А. Кириллов, В. Д. Присяжный.

ГАЛОТРИХИТ [от греч. ἄλος (ἄλος) — соль и τριχίς (τριχίος) — волос], $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}) \text{Al}_2 [\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ — минерал класса *сульфатов*. Синонимы: железистые квасцы и волосовидная соль. Хим. состав переменный: от собственно Г. — крайнего железистого члена изоморфного (см. *Изоморфизм*) ряда — до пиккерингита — крайнего магnezийного члена. Хим. состав (%): $\text{FeO} = 0,00\text{—}8,07$; $\text{MgO} = 0,00\text{—}4,69$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9,07\text{—}12,30$; $\text{SO}_3 = 34,66\text{—}37,84$; $\text{H}_2\text{O} = 43,33\text{—}47,00$. Содержит изоморфные примеси марганца, кобальта и хрома. Структура не изучена, сингония моноклиническая, вид симметрии диэдрической осевой. Встречается в виде корочек и налетов, жилковидных, спутанных или сфероидальных агрегатов, состоящих из игольчатых или волосовидных кристаллов. Спайность (см. *Спайность минералов*) плохая по (010). Плотность $1,89\text{—}1,95 \text{ г/см}^3$. Твердость $1,5\text{—}2,0$. Цвет (см. *Цвет минералов*) стеклянный. Излом (см. *Излом минералов*) раковистый. Растворим в воде, вкус вяжущий.

Двухосный, отрицательный; $2V = 35^\circ$, без плеохроизма, плоскость оптических солей (010), с $N_g = 18-38^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,490$; $n_m = 1,486$; $n_p = 1,480$. На кривых нагревания отмечаются три эндотермических эффекта: $80-160^\circ\text{C}$, $250-340^\circ\text{C}$ (оба обусловлены потерей воды) и $730-820^\circ\text{C}$ (связан с диссоциацией сульфата). В природе встречается редко. Образуется в результате окисления пиритсодержащих руд, развитых в глиноземистых породах (углистых сланцах), является также продуктом вулканической деятельности. Известен в ассоциации с *квасцами*, *мелантеритом*, *эпсомитом*, *гипсом* и др. сульфатами. Искусственный аппарат является стойкой фазой в системе $\text{FeSO}_4 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{H}_2\text{O}$. В смеси с мелантеритом, ремеритом, копиапитом и *ярозитом* используют как железный дубитель кож, частично заменяя более дорогостоящие хромовые дубители.

Лит.: Абрамов В. Ф., Возилов И. К. Исследование минерального дубителя купоросной подзоны окисленных руд железорудного месторождения. «Труды химического института Кыргызского филиала АН СССР», 1951, в. 4; Лаваренко Е. К., Габинет М. П., Сливко О. П. Минералогия осадочных утворен Прикарпаття. Львів, 1962: Дэна Дж. Д. [и др.]. Система минералогии, т. 2, полутом 1. Пер. с англ. М., 1953.

Л. К. Яхонтова.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

[по имени итал. ученого Л. Гальвани (L. Galvani)] — металлические покрытия, которые наносят электролитическим способом на поверхность металлических изделий; вид *защитных покрытий*. Наиболее широко используются для защиты изделий от *коррозии металлов*, повышения их *износостойкости*, как *барьерные слои*, с декоративной целью. По сравнению с металлом основы Г. п. обладают более высокими физико-хим. и мех. свойствами, что и предопределяет их назначение. В зависимости от вида и назначения толщина Г. п. составляет от долей микрометра до десятых долей миллиметра. Осн. требования к Г. п.: прочное сцепление с металлом основы (что в значительной мере обуславливает вы-

бор способа покрытия), равномерность распределения по поверхности, миним. *пористость*, мелкозернистая структура. Нанесение Г. п. называют, исходя из наименования наносимого металла, напр., *золочением*, *серебрением*, *платинированием*. Для предварительной подготовки поверхности изделия применяют мех., хим. и электрохим. способы, включающие удаление случайных и окисных загрязнений, обезжиривание, *травление*, мех. и электрохим. полирование. Иногда поверхность изделия развивают (песко- или дробеструйной обработкой), повышают ее активность (*наклепом*). Г. п. получают электролизом водных растворов или расплавов солей. В процессе электролиза изделия служат катодами, а в качестве анодов используют металлы. Реже электролиз ведут с нерастворимыми анодами. Г. п. получают с помощью постоянного электр. тока, но иногда, с целью повышения плотности и улучшения структуры (достижения мелкозернистости) покрытий, на постоянный ток накладывают переменный. Различают Г. п. анодные и катодные. Анодными наз. покрытия, металл к-рых по отношению к металлу основы имеет более отрицательный электрохим. потенциал, напр. цинковое покрытие на изделиях из железа. Катодными наз. покрытия, имеющие, по сравнению с металлом основы, более положительный электрохим. потенциал, напр. оловянное покрытие на изделиях из стали. Механизм защиты металла основы анодными и катодными Г. п. различен. Если, напр., анодные покрытия защищают металл основы от коррозии электрохимически (этот металл корродирует только после разрушения покрытия), то эффективность защиты от коррозии катодных покрытий определяется в первую очередь их сплошностью и степенью пористости. Высокие св-ва Г. п. обеспечиваются не только тщательной подготовкой поверхности изделия, но и выбором электролита, температурными режимами осаждения, подбором оптимальных параметров электролиза (в первую очередь плотности тока). Для придания покрытиям блеска в электролит вводят специальные добавки. Равномерной толщины

покрытия добываются перемещением изделий в ваннах, подбором формы анода, а если возможно — и приготовлением электролита из растворов комплексных солей. Г. п. бывают одно- и многослойными. Обычно сквозная пористость покрытий из двух и более слоев одно- или разнородных металлов существенно ниже, чем у однослойных с идентичной толщиной. В качестве Г. п. стальных изделий применяют гл. обр. хром, никель, цинк, олово и медь (см. *Хромирование, Никелирование, Цинкование, Лужение, Меднение*). Реже используют для различных изделий алюминий (см. *Алюминирование*), титан (см. *Титанирование*), вольфрам (см. *Вольфраммирование*), молибден (см. *Молибденирование*). Г. п. применяют в автомобиле- и самолетостроении, радиопромышленности, электронной промышленности, многих областях науки и техники.

Лит.: Лайнер В. И., Кудрявцев Н. Т. Основы гальваностегии, ч. 1. М., 1953; Лайнер В. И. Современная гальванотехника. М., 1967; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974. В. И. Лайнер.

ГАЛЬКА — окатанные обломки горной породы. Г. подразделяют на крупную (50—100 мм), среднюю (25—50 мм) и мелкую (10—25 мм). Крупную Г. в золото-поисковой практике нередко выделяют под названием *галы*. Минералого-петрографический состав и текстурно-структурные

особенности Г. зависят от того, обломком какой горной породы (магматической или метаморфической, поли- или мономинеральной) она является. По генетическому признаку различают Г. морского, речного, озерного, ледникового и эолового происхождения. Морская Г. имеет более плоскую форму и лучше окатана, чем речная и озерная. Удлиненная Г. прибойной полосы наклонена в сторону моря, углы наклона пологие. Удлиненная речная Г. обычно располагается с наклоном против течения, углы наклона крутые. Галька ледникового происхождения характеризуется слабой обработкой и недостаточно высокой сортировкой.

Г. эолового генезиса образуется в условиях пустынь в результате деятельности бурь и ураганов, встречается довольно редко. Используют Г. гл. обр. в дорожном строительстве. Г., состоящую из наиболее прочных, кремнистых пород, применяют в шаровых мельницах для тонкого помола материалов.

Лит.: Спутник полевого геолога-нефтяника, т. 1—2. Л., 1954. В. П. Усенко.

ГАММА-ДЕФЕКТОСКОПИЯ (от греч. γάμμα — назв. третьей буквы алфавита) — дефектоскопия, основанная на просвечивании материалов гамма-лучами. Предложена советскими учеными в 1926. Для Г.-д. используют преим. искусственные (получаемые в ядерных реакторах) радиоактивные изотопы различных хим. элементов (табл. 1) с жестким излучением (энергия гамма-лучей до 1000 кэв и более), с излучением средней жесткости (300—700 кэв) и с мягким излучением (менее 300 кэв), реже используют естественные радиоактивные вещества (радий, радон, мезоторий, радиоторий или их смеси). В гамма-дефектоскопах (рис. 1 на с. 258) есть контейнеры для хранения источника излучения (радиоактивного изотопа) и дистанционное устройство, с помощью которого ампулу с изотопом перемещают в рабочее положение. Различают гамма-дефектоскопы переносные, передвижные и стационарные. При Г.-д. источник гамма-излучения

Таблица 1. Характеристика искусственных изотопов, применяемых в гамма-дефектоскопии

Изотоп	Период полураспада	Энергия основных линий спектра излучения, кэв	Гамма-активность 1 кг изотопа, г-экв радий
^{155}Eu	1,7 года	84; 102	0,103
^{170}Tl	129 дней	53; 84	0,0012
^{75}Se	127 дней	77; 136; 265; 401	0,23
^{192}Ir	74,4 дня	296; 316; 468; 604	0,55
^{154}Eu	16 лет	336; 778; 1,116	0,028
^{137}Cs	26,6 года	661	0,37
^{60}Co	5,27 года	1170; 1330	1,54

устанавливают на некотором расстоянии от контролируемого объекта (напр., отливки), с другой стороны которого, по возможности ближе к объекту, размещают рентгеновскую пленку в светонепроницаемой касете или иной детектор (индикатор), регистрирующий гамма-излучение. Интенсивность гамма-лучей, прошедших через разные участки просвечиваемого объекта, зависит от его хим. состава, плотности и толщины. Если в объекте есть макроскопические дефекты (см. *Дефекты металлов*), интенсивность гамма-излучения, прошедшего через дефектные и бездефектные места, различна, что и фиксируется на пленке (рис. 2). При прохождении через материал уменьшение интенсивности гамма-лучей (узкий пучок монохроматического излучения) описывается соотношением $J = J_0 \exp(-\mu d)$, где J — интенсивность излучения, прошедшего через слой материала толщиной d ; J_0 — начальная интенсивность пучка; μ — линейный коэфф. ослабления интенсивности излучения. При гамма-излучении изотопа ^{60}Co значение коэфф. ослабления составляет: у алюминия — $0,15 \text{ см}^{-1}$, у стали — $0,42$, у меди — $0,46$, у свинца — $0,63 \text{ см}^{-1}$. Для просвечивания обычно пользуются широкими расходящимися пучками гамма-лучей, что снижает этот коэфф.циент. Чтобы определить расположение дефекта по глубине, делают два снимка, меняя положение источника излучения. Выбор необходимого для просвечивания изотопа зависит в основном от плотности материала и толщины контролируемого объекта (табл. 2). Для контроля объектов большой толщины при-

меняют жесткое гамма-излучение, возникающее при торможении электронного пучка, получаемого с помощью бетатрона. В зависимости от способа измерения интенсивности гамма-излучения, прошедшего через объект, различают методы Г.-д. фоторадиографический (наиболее распространенный), ионизационный, ксерографический и телевизионный.

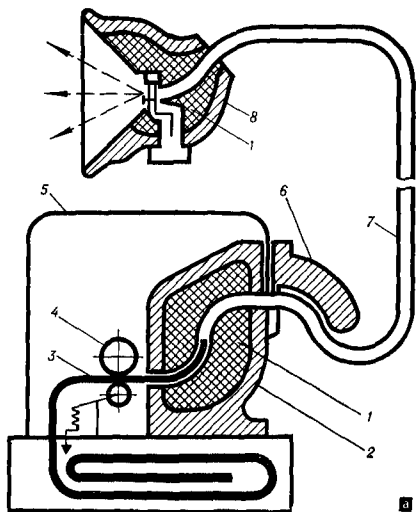
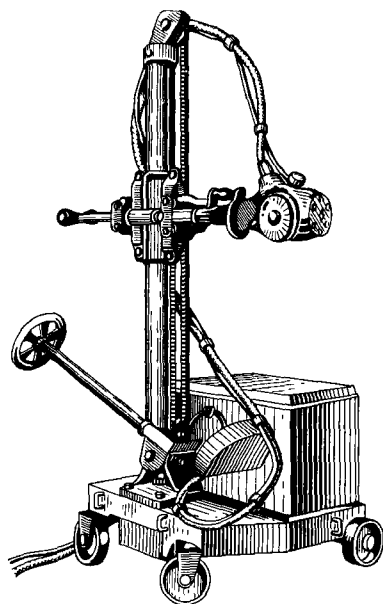
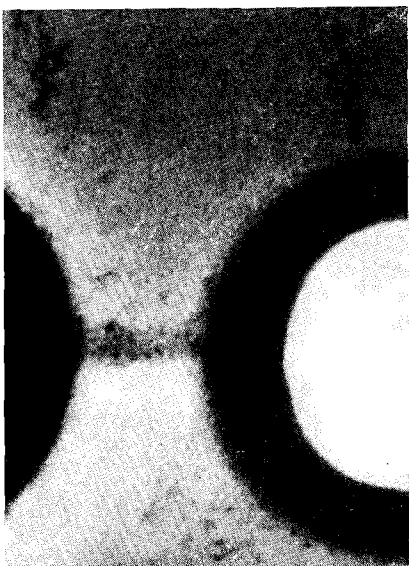


Рис. 1. Гамма-дефектоскоп для источников гамма-излучения ^{60}Co активностью 5 и 50 г-экв радия (ГУП—Со—5—1 и ГУП—Со—50—1): а — внешний вид; б — схема; 1 — свинец; 2 — чугунный корпус контейнера для хранения источника излучения; 3 — стальной трос; 4 — механизм с электромагнитом для передвижения троса с ампулой, содержащей изотоп, из контейнера для хранения в рабочий контейнер; 5 — железный кожух; 6 — чугунный защитный кожух; 7 — шланг для передвижения источника излучения; 8 — чугунный корпус рабочего контейнера.

В фоторадиографическом методе детектором гамма-излучения служит спец. рентгеновская пленка, экспозиция определяется ориентировочно по графикам и номограммам. Для уменьшения экспозиции пленку помещают между усиливающими экранами, в качестве к-рых используют свинцовую либо оловянную фольгу (коэфф. усиления ≈ 2). Применяют также флуоресцирующие под действием гамма-лучей экраны из вольфрамата кальция (в этом случае коэфф. усиления увеличивается, но четкость изображения снижается). При оптимальных условиях чувствительность фоторадиографического метода составляет 0,5—1% (отношение размера миним. дефекта в направлении просвечивания к толщине объекта). Ионизационный метод, осуществляемый с помощью сцинтилляционных и газоразрядных счетчиков, а также ионизационных камер, применяется гл. обр. для измерения толщины изделий и при массовом контроле одинаковых деталей. Ксерографический метод основан на неравномерной электризации поверхности полупроводников (селеновых и др.) с последующим

Рис. 2. Рыхлоты в стальной отливке, выявленные гамма-дефектоскопией.



проявлением изображения на бумагу. Телевизионный метод осуществляется с помощью электронно-оптических преобразователей гамма-излучения в излучение, видимое на экранах пром. телевизионных установок. С помощью телевизионного метода можно непрерывно обнаруживать макроскопиче-

Таблица 2. Просвечиваемость материалов различными источниками гамма-излучения

Изотоп	Наиболее эффективная толщина просвечивания, мм				
	сплавов на основе железа	сплавов на основе титана	сплавов на основе алюминия	сплавов на основе магния	
^{155}Eu	1—10	2—15	5—40	30—150	
^{170}Tb	1—10	2—20	5—40	30—150	
^{75}Se	1—15	10—30	40—150	50—200	
^{192}Ir	10—40	15—70	50—250	100—300	
^{154}Eu	10—60	15—90	50—250	100—350	
^{137}Cs	20—80	25—100	70—300	150—400	
^{60}Co	60—200	100—300	250—500	—	

ские дефекты, определяя их форму, размеры и глубину залегания в контролируемых объектах. При Г.-д. принимают спец. меры защиты от ионизирующего излучения. Г.-д. применяется в судостроении, металлургии, на строительстве нефте- и газопроводов и др.

Лит.: Румянцев С. В., Григорович Ю. А. Контроль качества металлов гамма-лучами. М., 1954; Таточенко Л. К., Медведев С. В. Промышленная гамма-дефектоскопия. М., 1955; Денель А. К. Дефектоскопия металлов. М., 1972; Румянцев С. В. Радиационная дефектоскопия. М., 1974.

Ю. В. Мильман.

ГАММА-ФАЗА — 1) В хим. элементах — фаза, образующаяся преим. из бета-фазы при нагревании (продукт второго полиморфного превращения) или из расплава либо дельта-фазы при охлаждении. Обозначение Г.-ф. ввел франц. металлург Ф. Осмонд в 1885. Г.-ф., напр., урана образуется из бета-

фазы при нагревании до т-ры 774°C или из расплава при т-ре 1033°C ; Г.-ф. черня возникает из бета-фазы во время нагрева до т-ры -10°C или из дельта-фазы при т-ре 725°C в процессе охлаждения. Исключение составляет железо, Г.-ф. к-рого образуется из альфа-фазы при нагреве выше т-ры 910°C . 2) В с и л а - в а х — фаза, представляющая собой *твердый раствор*, образующийся преим. из твердого раствора бета-фазы при нагревании или из расплава либо твердого раствора дельта-фазы при охлаждении. Область существования Г.-ф. регулируют введением легирующих элементов. Так, добавка никеля в сталь расширяет эту область, добавка хрома — сужает ее, повышая т-ру полиморфного превращения. В зависимости от степени легирования и скорости охлаждения Г.-ф. может существовать при т-рах несколько ниже т-р превращения в бета-фазу. *Кристаллическая структура* Г.-ф. соответствует структуре Г.-ф. элемента-растворителя (рис.). Превращение Г.-ф. при охлаждении обуславливает мех. св-ва мн. сплавов. В зависимости от режима охлаждения стали продуктом превращения Г.-ф. может быть ферритоцементитная смесь различной дисперсности (см. *Феррит*, *Цементит*) или *мартенсит*, что существенно изменяет ее св-ва. На стабилизации Г.-ф. железа легирующими элементами основано получение *коррозионностойких сталей* (напр., хромоникелевых), к-рые при медленном охлаждении до комнатной т-ры сохраняют аустенитную структуру (см. *Аустенит*). Г.-ф. наз. также промежуточная фаза, образующаяся в двухкомпонентных сплавах. Она составляет класс электронных соединений с отношением числа валентных электронов к числу атомов в элементарной ячейке, равным $21:13$. Обозначение Г.-ф. для электронных соединений ввел англ. металлург В. Юм-Розери в 1926. Промежуточная Г.-ф. образуется из двух металлов, мало отличающихся величинами атомных диаметров. К Г.-ф. относятся электронные соединения, имеющие 52 атома в эле-

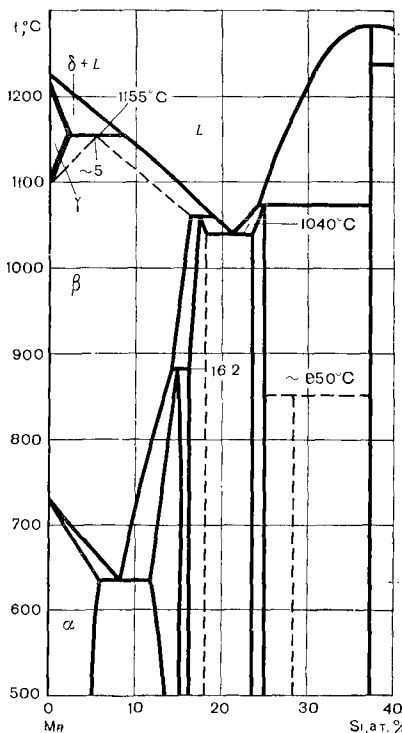
ментарной ячейке — Cu_5Zn_8 , Cu_5Cd_8 , Cu_5Al_4 , Ag_5Zn_8 , $\text{Ni}_5\text{Be}_{21}$, $\text{Pt}_5\text{Zn}_{21}$. Г.-ф. отличается упорядоченной структурой, к-рая сохраняется до т-р плавления.

Лит.: Лившиц Б. Г. Металлография. М., 1971; Юм-Розери В., Рейнор Г. В. Структура металлов и сплавов. Пер. с англ. М., 1959.

В. Г. Иванченко.

ГАФНАТЫ — соли гидрата двуокиси гафния. Первые сведения о Г. опубликовал венг. химик Д. Хевеши. Наиболее изучены Г. (табл.) щелочных, щелочно- и редкоземельных металлов. Щелочные металлы образуют соединения типа M_2HfO_3 , M_4HfO_4 , $\text{M}_2\text{Hf}_2\text{O}_5$ и $\text{M}_2\text{Hf}_3\text{O}_7$. Двуокись гафния с окислами щелочноземельных элементов (кальция, стронция и бария) образует эквимоларные соединения типа MHfO_3 ; с окислами лантаноидов цериевой подгруппы — соединения типа пи-

Гамма-фаза на диаграмме состояния марганец — кремний: α — альфа-фаза; β — бета-фаза; γ — гамма-фаза; δ — дельта-фаза; L — жидкая фаза.



рохлора ($\text{Ln}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$), изоструктурные аналогичным по составу цирконатам. Г. кальция и стронция имеют структуру типа *перовскита*. Г. щелочных металлов гидролизуются водой, причем процесс тормозится образующейся на поверхности пленкой $\text{HfO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, однако в кислой среде разложение происходит полностью. Г. лития и натрия (Li_2HfO_3 и Na_2HfO_3) — кристаллические вещества с показателем преломления

Свойства гафнатов

Гафнат	$t_{\text{пл.}}^{\circ}\text{C}$	$\rho, \text{г/см}^3$	Период кристаллической решетки, Å			$\alpha \cdot 10^3$ (т-ра 20—900° C), град^{-1}
			a	b	c	
CaHfO_3	2470	5,73	11,03	4,92	11,42	7,08
SrHfO_3	2890	7,53	4,063	—	—	9,9
BaHfO_3	2730	8,26	4,147	—	—	7,4
$\text{La}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$	2285	7,87	10,732	—	—	7,85
$\text{Nd}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$	2460	8,11	10,607	—	—	9,27
$\text{Sm}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$	—	8,20	10,538	—	—	10,60
$\text{Gd}_2\text{Hf}_2\text{O}_7$	2520	8,34	10,451	—	—	—

1,78 и плотностью (т-ра 20° C) соответственно 6,453 и 5,763 г/см³. У Г. калия $\text{K}_2\text{Hf}_2\text{O}_5$ и $\text{K}_2\text{Hf}_3\text{O}_7$ показатель преломления 1,78, плотность 5,860 и 6,604 г/см³. Известны соединения рубидия — дигафнат $\text{Rb}_2\text{Hf}_2\text{O}_5$, тригафнат $\text{Rb}_3\text{Hf}_3\text{O}_7$ и Г. цезия — $\text{Cs}_2\text{Hf}_3\text{O}_7$. Г. лантана, неодима и гадолиния плавятся без разложения. Г. щелочных металлов при т-ре выше 1300—1400° C распадаются на исходные окислы. Г. щелочных, щелочно- и редкоземельных металлов получают спеканием, сплавлением двуокиси гафния с гидроокисями, карбонатами, нитратами и др. солями при т-ре от 800° C и выше. Высокотемпературные Г. щелочно- и редкоземельных металлов находят применение в качестве спец. огнеупорных материалов, теплозащитных покрытий и высокоогнеупорных керамических материалов.

Лит.: Шека И. А., Карлышева К. Ф. Химия гафния. К., 1972.

А. В. Шевченко.

ГАФНИЙ [Hafnium; от лат. Hafnia — Гафния (назв. г. Копенгагена)], Hf — хим. элемент IV группы периодической системы элементов; ат. н. 72, ат. м. 178,49. Серебристо-

белый металл. В соединениях проявляет степень окисления +4. Природный Г. состоит из шести стабильных изотопов с массовыми числами 174, 176—180. Получены искусственные радиоактивные изотопы с массовыми числами 170—173, 175, 179, 180, 181, 183 и периодами полураспада соответствен-

но 1,87 ч, 16 ч, 5 лет, 23,6 ч, 70 дней, 19 сек, 5,5 ч, 46 дней и 64 мин. Г. открыли в 1922 венг. химик Д. Хевеши и голл. физик Д. Костер. Металлический Г. получил в 1925 Д. Хевеши. Начало широкого использования Г. связано с применением его в ядерной технике. Г. — рассеянный элемент, не имеет собственных минералов и в природе обычно сопутствует цирконию (1—7%). Его содержание в земной коре $3,2 \cdot 10^{-4}\%$. Г. существует в двух полиморфных модификациях. При обычной т-ре устойчива гексагональная плотноупакованная решетка типа магния, с периодами $a = 3,1883 \text{ Å}$, $c = 5,0422 \text{ Å}$, $c/a = 1,5815$ (при содержании 0,78% Zr). Выше т-ры $1760 \pm 35^\circ \text{C}$ устойчива объемноцентрированная кубическая решетка (тип $\alpha\text{-Fe}$) с периодом $a = 3,60 \text{ Å}$ (т-ра 2000° C). Плотность (т-ра 20° C) $13,31 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл.}} 2222 \pm 30^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип.}} = 5400^\circ \text{C}$. Температурный коэфф. линейного расширения (при содержании 0,86—0,89% Zr) в интервале т-р 0—1000° C составляет $5,9 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Коэфф.

теплопроводности (при содержании 2% Zr) уменьшается с 0,0533 до 0,0490 кал/см · сек · град при повышении т-ры от 50 до 500° С. Удельная *теплоемкость* (т-ра 25° С) 0,0342 кал/г · град. Т-ра Дебая для Г. чистой 99,95—99,98% составляет 251,5—252,3 К. Удельное *электрическое сопротивление* (т-ра 20° С) $40 \cdot 10^{-8}$ ом · м, температурный коэфф. электросопротивления в интервале т-р 0—800° С составляет $3,51 \cdot 10^{-3}$ град⁻¹. Особенность Г. — высокая эмиссионная способность. Работа выхода электронов 3,53 эв. Поперечное сечение захвата тепловых нейтронов 105 ± 5 барн. Г. парамагнитен. Мех. св-ва Г. существенно зависят от чистоты и условий приготовления образца. Чистый металлический Г. поддается холодной и горячей обработке (фрезерованию, сверлению, прокатке). У йодидного Г. $HV = 152$ (нагрузка 1,2 кг), $H = 206$ кг/мм² (нагрузка 60 г). Коэфф. сжимаемости при т-ре 303 К составляет $0,901 \cdot 10^{-6}$ см²/кг. Модуль Юнга йодидного Г. (0,72% Zr) после отжига в вакууме при т-ре 1040° С равен $14 \cdot 10^5$ кгс/см². При обычных условиях Г. стоек к действию горячей воды, паровоздушных смесей, жидкого натрия, щелочей, разбавленной соляной к-ты, азотной к-ты любой концентрации, кислорода, азота и водорода. В порошкообразном виде пирофорен (см. *Пирофорность*). Хорошо растворяется в «царской водке», концентрированной серной и фтористоводородной к-тах. При высокой т-ре заметно реагирует с водородом, водой, кислородом, с галогенами (образуя *галогениды* HfX_4), с азотом и углеродом образует тугоплавкие соединения: нитрид HfN ($t_{пл}$ 2982 \pm 50° С) и карбид HfC ($t_{пл}$ 3887 \pm 50° С). Для разделения соединений Г. и циркония прибегают к *дробной кристаллизации*, фракционированному осаждению (наиболее быстрый и эффективный в лабораторной практике метод), ионному обмену, *адсорбции*, электролизу, жидкостной экстракции (наиболее распространенной в пром. произ-ве),

фракционной дистилляцией и селективному восстановлению (наиболее перспективны при хлорном методе вскрытия циркона). Металлический Г. получают металлотермическим восстановлением $HfCl_4$ магнием, галлием, натрием или их смесями, термической диссоциацией галогенидов низшей валентности или карбонила, электролизом расплавленных сред. Для дополнительной очистки используют йодидное (наиболее распространенное) или электролитическое рафинирование, диспропорционирование, электроннолучевую и электродуговую плавку в высоком вакууме. Г. металлический, а также его соединения (напр., HfC и HfO_2) используют для изготовления стержней-регуляторов ядерных реакторов и защитных приспособлений. Кроме того, Г. в чистом виде и в виде сплавов находит применение в электро-, радио- и рентгентехнике (электрические нити и электроды накаливания, чехлы для угольных и графитовых анодов, *геттеры* и др.). Применяют его также в качестве повышающей *жаропрочность* легирующей добавки в спец. сталях и сплавах с палладием (потенциометрическая проволочка), с медью (контактные пластины сварочных электродов), в *жаропрочных сплавах* на основе молибдена, тантала, вольфрама и ниобия для ракетной и космической техники. Перспективен как конструкционный материал для реактивных двигателей, хим. аппаратов и др. Окись Г. применяют для изготовления тугоплавких *огнеупорных материалов*, как составную часть спец. оптических стекол, эксплуатируемых при высоких т-рах, как *катализатор* мн. органических реакций и др.; перспективен как связка в жаропрочных материалах на основе боридов, карбидов, силицидов и др. соединений щелочноземельных металлов, тория, урана и для изготовления керамики-металлических материалов в сочетании с ниобием, танталом, титаном и ванадием. Карбид Г., самый тугоплавкий среди простых карбидов, — высокоогнеупорный материал. См. также *Гафнаты*.

Лит.: Шека И. А., Карлышев К. Ф. Химия гафния. К., 1972; Carlson O. N., Schmidt F. A., Wilhelm H. A. Preparation of zirconium and hafnium metals by bomb reduction

their fluorides. «Journal of the Electrochemical society», 1957, v. 104, № 1; Справочник по редким металлам. Пер. с англ. М., 1963; Металлургия гафния. Пер. с англ. М., 1967.

Т. Я. Великанова.

ГЕЛЕНИТ [по имени швед. химика А. Гелена (A. Gehlen)], $\text{Ca}_2\text{Al} \times [\text{SiAlO}_6]$ — минерал класса *силикатов*, алюминистая разновидность мелилита. Разность: ферритгеленит — железистый геленит. Структура слоистая, сингония тетрагональная, вид симметрии тетрагонально-скеленоэдрический. Образует зернистые, шестовые и лучистые агрегаты, сплошные тонкокристаллические выделения, порфировидные вкрапления в породах, редко — кристаллы. Кристаллы минерала иногда имеют зональное сложение.

Спайность (см. *Спайность минералов*) по (001) совершенная, по (100) несовершенная. *Плотность* 3,05 г/см³. *Твердость* 5—6. Излом неровный, раковистый, иногда безцветный (см. *Излом минералов*). Бесцветный, примесями окрашивается в бледно-желтый, зеленый, буроватый, серовато-зеленый цвет (см. *Цвет минералов*); в шлифах бесцветный. Блеск стеклянный (см. *Блеск минералов*). Оптически одноосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_g = 1,669$; $n_p = 1,658$; $n_g - n_p = 0,011$. Т-ра плавления 1590° С. Хим. состав (%): $\text{CaO} - 40,94$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 37,19$; $\text{SiO}_2 - 21,87$. Алюминий может изоморфно замещаться трехвалентным железом, что сопровождается увеличением показателей преломления ($n_g = 1,690$, $n_p = 1,670$), понижением т-ры плавления до 1288° С. В природе образуется в приконтактной зоне карбонатных пород с основными магмами. Геленит получают из расплава смеси SiO_2 с окислами или расплава смеси соотвествующего состава. Обычный минерал доменных шлаков, входит в состав цемента.

Лит.: Лацин В. В. Петрография металлургических и топливных шлаков. «Труды Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии», 1956, в. 2; Минералы. Справочник, т. 3, в. 1. М., 1972; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Пороодообразующие минералы, т. 1. Пер. с англ. М., 1965; Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптические свойства искусственных минералов. Пер. с англ. М., 1967.

Л. И. Карякин.

ГЕЛИЙ (Helium; от греч. ἥλιος — Солнце), He — хим. элемент VIII группы *периодической системы элементов*; ат. н. 2, ат. м. 4,00260. При обычных условиях инертный газ без цвета, запаха и вкуса. Природный Г. состоит из стабильных изотопов ³He и ⁴He. Получены изотопы ⁵He, ⁶He и ⁸He с периодами полураспада соответственно $2,4 \cdot 10^{-21}$, 0,83 и 0,18 сек. Г. открыли в 1868 франц. астроном Ж. Жансен и независимо от него англ. астрофизик Дж. Н. Локьер в атмосфере Солнца. Содержание Г. в атмосфере Земли $5,24 \cdot 10^{-4}$ об.%, в коре (преим.

в природных газах недр и в различных минералах) $10^{-6} - 10^{-7}\%$. Обычно употребляемый термин «гелий» относится к изотопу ⁴He, к-рый больше всего распространен в природе. Г. лучше др. газов следует идеальным газовым законам. *Плотность* изотопа ⁴He (т-ра 0° С, давление 760 мм рт. ст.) 0,17846 г/дм³. *Теплоемкость* при постоянном давлении C_p практически не зависит от т-ры (0—1000° С) и давления (1—200 ат) и равна $1,24 \pm \pm 0,1$ кал/г · град, а $C_p/C_v = 1,67$. Вязкость Г. (при комнатной т-ре) $1,96 \cdot 10^{-4}$ г/см сек, коэфф. теплопроводности (т-ра 20 К) $5 \times \times 10^{-5}$ кал/см · град сек и растет с увеличением т-ры по закону $T^{0,73}$. Г. мало растворим в воде и в охлажденных газах. При комнатной т-ре отличается плохой адсорбцией, в области гелиевых т-р она резко возрастает, достигая сотен кубических сантиметров на 1 г адсорбента. Для Г. характерна высокая способность проникать через различные стекла и органические вещества. Газообразный изотоп ³He по физ. св-вам мало отличается от изотопа ⁴He. Г. ж и д к и й — легкая прозрачная бесцветная жидкость. Изотопы ³He и ⁴He остаются жидкими под давлением насыщенных паров вплоть до сколь угодно низкой т-ры, что связано со слабым взаимодействием атомов Г. и большой амплитудой их нулевых колебаний. Для перевода Г. в твердое состояние жидкость

подвергают давлению, к-рое при т-ре вблизи 0 К для изотопа ^4He составляет 24,96, а для изотопа ^3He — 33,87 ат. По физ. св-вам жидкие изотопы ^3He и ^4He во многом различны (табл.). Теплоемкость изотопа ^4He при низкой т-ре уменьшается по закону T^3 , теплоемкость изотопа ^3He — пропорциональна т-ре. Изотоп ^4He приобретает специфичные св-ва в результате перехода в сверхтекучее состояние (см. *Сверхтекучесть*). При давлении насыщенных паров этот переход (λ -переход) происходит при т-ре 2,172 К. Выше λ -перехода нормальное состояние изотопа ^4He наз. He I, а сверхтекучее состояние (ниже этого перехода) — He II. При т-ре λ -перехода наблюдаются аномальный рост теплоемкости, излом на кривой температурной зависимости плотности, проявляются термодинамические и кинетические особенности, характерные для фазового перехода II рода. Г. — к в а н т о в а я ж и д к о с т ь (HeII), специфические св-ва к-рой связаны с его квантовой природой. Поскольку при т-ре около 1—2 К дебройлевская длина волны атомов Г. сравнима с их межатомным расстоянием, He II является не классической, а квантовой жидкостью, состоящей из бозе-частиц. Все др. жидкости успевают затвердеть раньше, чем в них существенно проявятся квантовые эффекты. Изотоп ^3He при низкой т-ре также образует квантовую жидкость, к-рая, в отличие от изотопа ^4He , состоит из ферми-частиц. К специфическим св-вам изотопа ^3He как ферми-жидкости относится т. н. нулевой звук — своеобразный волновой процесс, распространяющийся при достаточно низкой т-ре, когда из-за большой длины свободного пробега возбуждений обычный звук (первый звук) распространяться не может. При определенных условиях существуют сверхтекучие фазы жидкого изотопа ^3He . Еще один класс квантовых жидкостей образуют растворы изотопов ^3He — ^4He , в к-рых одновременно существуют возбуждения, подчиняющиеся бозевской и ферминовской статистике. В жидкой фазе растворы расслаиваются, причем критическая точка расслоения соответствует т-ре, равной 0,872 К, и концентрации 66,9% ^3He . При концентрации изотопа ^3He , меньшей 66,9%, растворы отличаются сверхтекучестью в широком интервале т-р, ограниченном снизу т-рой расслоения, а сверху — λ -т-рой. В растворах, содержащих меньше 6,37% ^3He , расслоения нет, что дает возможность достигать т-р, при к-рых примесные частицы испытывают сильное ферминовское вырождение. В этом случае образуется своеобразный раствор двух квантовых жидкостей — ферми-жидкости в сверхтекучей бозе-жидкости. Г. т в е р д ы й — бесцветная прозрачная масса. Изотопы ^3He и ^4He в твердой фазе испытывают полиморфные переходы (см. *Полиморфизм*) и в зависимости от давления и т-ры могут иметь структуры: объемноцентрированную кубическую, гранецентрированную кубическую и гексагональную плотноупакованную. Изотопы ^3He и ^4He имеют минимум на кривой плавления (у изотопа ^3He минимум соответствует т-ре 0,318 К и давлению 28,94 ат, у изотопа ^4He соответственно 0,775 К и 24,952 ат). Св-ва твердого Г. изу-

Свойства жидкого гелия

Жидкий гелий	$T_{\text{кр}},$ К	$P_{\text{кр}},$ мм рт. ст.	ρ (т-ра 0 К), г/см ³	$t_{\text{кип}}$ (760 мм рт. ст.), К	Теплота испарения (т-ра 0 К), кал/г	Поверхностное натяжение (т-ра 0 К), дин/см	λ (т-ра 2,5 К), кал/см · сек · град	Вязкость (т-ра 2,5 К), г/см · сек	Скорость звука (т-ра 0 К), м/сек
Изотоп ^3He	3,30940	861,8	0,08235	3,19	1,59	0,15	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	183,4
Изотоп ^4He	5,18988	1705,84	0,14577	4,215	3,58	0,37	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	238,3

Кристаллы Г. характеризуются высокой сжимаемостью, что связано с разрушением кристаллической решетки под влиянием больших нулевых колебаний. Подобное обстоятельство приводит к появлению существенных квантовых эффектов. Одним из проявлений квантовых св-в кристаллов Г. является необычный характер поведения дефектов и примесей, к-рые вследствие квантового туннелирования перестают быть локализованными частицами и приобретают св-ва квазичастиц, способных двигаться по всему кристаллу. Это приводит к т. н. квантовой диффузии изотопа ^3He в слабых растворах изотопов ^3He — ^4He , не зависящей от т-ры и возрастающей при уменьшении концентрации изотопа ^3He . В кристаллах Г. легче, чем в др. твердых диэлектриках, реализуется второй звук — слабо затухающие тепловые волны, распространяющиеся в фононном газе. Осн. источники пром. добычи Г. — свободные и растворенные в нефти геологические природные газы. От др. газов Г. отделяют глубоким охлаждением (он сжижается труднее всех остальных газов). Г. применяют для создания защитной инертной среды при плавке, резке и сварке металлов, для хранения и транспортирования легковоспламеняющихся веществ. С помощью Г. получают низкие т-ры (4,2 К и ниже), необходимые для практического использования, напр., *сверхпроводимости*. Откачиванием св-ва над жидкими изотопами ^3He и ^4He создают т-ры соответственно 0,2 и 0,7 К. Более низкие т-ры получают при растворении изотопа ^3He в изотопе ^4He , а также при кристаллизации изотопов ^3He . Кроме того, изотопы ^3He и ^4He являются осн. термометрическими веществами в газовых и конденсационных термометрах в интервале т-р от 80 К до ниже 1 К.

Лит.: Якуцені В. П. Геология гелия. Л., 1968; Халатников И. М. Теория сверхтекучести. М., 1971; Фастовский В. Г., Ровинский А. Е., Петровский Ю. В., Инертные газы. М., 1972; Растворы квантовых жидкостей. М.³ — Ней. М., 1973; Кеэзом В. Геллий. Пер. с англ. М., 1949; Atkins R. R. Liquid helium. London — New York, 1959; Wilks J. The properties of liquid and solid helium. Oxford. 1967.

Э. Я. Рудаевский.

ГЕМАТИТ [от греч. $\alpha\iota\mu\alpha$ ($\alpha\iota\mu\alpha\tau\omicron\varsigma$) — кровь], Fe_2O_3 — минерал класса окислов. Известно несколько разновидностей, отличающихся по строению, форме выделений и хим. составу. Железный блеск — кристаллические выделения с металлическим блеском (синоним: спекулярит); железная слюдка — агрегаты тонких пластинок, чешуек; железная роза — скопления пластинчатых кристаллов, сростшихся по пинакоиду или близкому к этому направлению; железная сметана — рыхлые скопления очень мелких чешуек красного цвета, жирные на ощупь; красный железняк — плотные тонкокристаллические агрегаты; красная стеклянная голова — натечные агрегаты гематита; мартит — псевдоморфозы гематита по магнетиту; титаногематит — гематит с изоморфной примесью титана; гидрогематит — тонкодисперсный гематит с адсорбированной водой. Хим. состав (%): Fe — 70 и O — 30. Иногда содержатся примеси титана, алюминия, марганца, двухвалентного железа, хрома, никеля, кобальта, ванадия, цинка и др. Структура координационная, сингония тригональная, вид симметрии дитригонально - скаленоэдрический. Кристаллы ромбоэдрические, таблитчатые, реже призматические. Наблюдаются штриховка по трем направлениям, треугольные углубления и пирамиды нарастания. Двойники прорастания и сростания по (0001); распространены подисинтетические двойники по (10 $\bar{1}$ 1). Спайность (см. Спайность минералов) отсутствует, но имеется отдельность, обусловленная двойникованием. Плотность чистого $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ равна $5,2749 \pm 0,0021$ г/см³. Твердость 5—6. Цвет (см. Цвет минералов) железно-серый до черного, в тонких осколках от ярко- до темно-красного. Блеск (см. Блеск минералов) металлический, у тонкодисперсных разновидностей полуметаллический и матовый. Излом (см. Излом минералов) полураковистый, неровный. В проходящем свете в шлифах — кроваво-красный; плеохроизм слабый.

В отраженном свете наблюдается слабое двуотражение: от белого до серо-голубого. Отражательная способность (%): зеленых лучей — 28,70, желтых — 26,15, красных — 25,03. Одноосный, отрицательный. Светопреломление высокое, двупреломление очень сильное: $n_o = 3,15 - 3,22$; $n_e = 2,87 - 2,94$; $n_o - n_e = 0,28$. Отличается магнитными и полупроводниковыми св-вами. Г. — широко распространенный минерал, содержащийся в горных породах и рудных месторождениях различных генетических типов. Как второстепенный или акцессорный минерал встречается в кислых и средних изверженных и вулканических породах (*гранитах, сиенитах* риолитах, *трахитах*). Скопления иногда образуются из вулканических возгонов на стенках кратеров, в трещинах лав и брекчий. В небольших количествах встречается в *пегматитах*; более характерен для гидротермальных и контактово-метасоматических месторождений, жил альпийского типа, околорудных зон гидротермально-измененных пород. В метаморфических породах — один из главных минералов железистых *кварцитов* и джеспилитов, где ассоциирует с магнетитом, реже — с железомagneвыми карбонатами, силикатами. В зонах глубинного окисления этих пород широко развиты процессы мартитизации — образования Г. по магнетиту. В коре выветривания, особенно в условиях сухого жаркого климата, Г., наряду с гетитом, образуется в результате разложения др. минералов железа и составляет «железные шляпы», латериты, входит в состав бокситов. Наличие Г. и продуктов его изменения — обычная причина красной окраски выветрившихся и окисленных пород. Г. получают дегидратацией гидроокиси железа, *сублимацией* при взаимодействии хлорида железа и водяного пара, нагреванием расплава *буры* с окисью железа. Гематитом (гл. образом мартитом) сложены крупнейшие месторождения богатых (46—70%) докембрийских железных руд, используемых для вы-

плавки железа. Чистые порошковые разности и продукты изменения Г. применяют как *минеральные краски*. Окрашенные гематитом железистые кварциты, джеспилиты и *яшмы* используют как декоративный материал.

Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Минералы. Справочник, т. 2, в. 2. М., 1966; Геология и генезис докембрийских железисто-кремнистых и марганцевых формаций мира. К., 1972; Дири У. А., Хауи Р. А., Зусман Д. Ж. Породообразующие минералы, т. 5. Пер. с англ. М., 1966.

Ю. П. Мельник.

ГЕМАТИТ в металлургии — чугуны, выплавляемый из гематитовых руд. Отличается низким содержанием фосфора (до 0,1%), не изменяющимся во время плавки. Различают Г. коксовый (марок от ЛК0 до ЛК5) и специальный (марок КК и КД). Если содержание фосфора в таких чугунах более 0,1%, они относятся к обычным (класс Б) или фосфористым (классы В и Г). Г. составляют в жидком виде (для мартеновского передела) или в виде чушек массой не более 45 кг с одним или двумя пережимами (для измельчения при переплаве в вагранках). Чистый (по фосфору) Г. используют гл. обр. для изготовления изделий с повышенной мех. прочностью, эксплуатируемых при высокой температуре и повышенном внутреннем давлении.

Специальный Г. применяют для произ-ва *кожкого чугуна* и *легированного чугуна* (особенно легированного молибденом), для отливки валков прокатных станов, колес с отбеленным ободом; используют также в авиастроении. Марки и хим. состав коксовых и специальных Г. приведены соответственно в ГОСТах 4832—58 и 4834—58.

Лит.: Справочник по чугуному литью. М. — Л., 1966. В. И. Литовка.

ГЕРМАНИДЫ — соединения *германия* с более электроположительными элементами. Первыми в конце 20-х и начале 30-х гг. 20 в. были исследованы соединения меди, натрия, магния и кальция. Для 30 двойных систем металл — германий построены *диаграммы состояния*. Остальные металлы, за исключением искусственных радиоактивных элементов, исследованы в области образования двойных соединений. Изучаются тройные системы, состоящие

из двух металлов — кремния и германия. Образование двойных Г. характерно для большинства металлов, кроме элементов II s — IV s групп периодической системы, а также алюминия, бериллия и вольфрама. Известно (1977) 230 двойных и более 250 тройных соединений Г. Натрий, магний, стронций, рений и осмий образуют по одному Г., остальные металлы — по два-шесть Г. Стехиометрические типы Г. разнообразны и чаще всего не связаны с валентностью компонентов. Осн. структурные типы двойных соединений Г.: FeB , NiAs , Cu_3Si , Mn_5Si_3 , AlB_2 , $\alpha\text{-ThSi}_2$. В структурном отношении Г. подобны *силицидам*, несмотря на больший размер атома германия по сравнению с атомом кремния. Характерной особенностью строения Г., как и *боридов* и *силицидов*, является образование ковалентно связанных групп атомов германия — пар, цепей, сеток, каркасов и обособленных тетраэдров. Физико-хим. св-ва соединений подобны св-вам *силицидов*, но еще мало изучены. Г. — хрупкие и твердые вещества серебристо-серого цвета с металлическим блеском. Большинство Г. имеют высокие t -ры плавления, значительно превышающие t -ры плавления исходных компонентов. Наиболее тугоплавкие — Zr_5Ge_3 ($t_{\text{пл}}$ 2330° C), Hf_5Ge_3 ($t_{\text{пл}}$ 2200° C) и Th_3Ge_2 ($t_{\text{пл}}$ 2000° C). Некоторые Г. образуются по перитектическим реакциям, а также в результате превращений в твердом состоянии. Соединения наиболее активных металлов легко взаимодействуют с воздухом и водой. Г. переходных металлов более стойки к воздействию хим. агрессивных сред. В большинстве случаев для Г. характерна металлическая проводимость. Среди Г. есть соединения с высокими t -рами перехода в сверхпроводящее состояние (напр., у V_3Ge она составляет 6,0 K, у Nb_3Ge равна 6,9 K). T -ру перехода соединения Nb_3Ge можно значительно повысить заменой половины атомов германия атомами алюминия. Некоторые Г. отличаются полупроводниковыми (напр., Г. магния) и ферромагнитными (напр., Г. марганца) св-вами. Осн. способ получения Г. — спекание или сплавление исходных ком-

понентов. Некоторые соединения получены термическим разложением в вакууме, электролизом расплавов и восстановлением окислов. Применяют и перспективны Г. — упрочнители *алюминия сплавов* (Mg_2Ge), *полупроводниковые материалы* (Г. магния и щелочноземельных металлов), химически стойкие вещества (Cu_3Ge), магниты (MnAlGe), материалы для термоэлементов и ядерной техники. Лит.: Самсонов Г. В., Бондарев В. Н. Германий, М., 1968; Гладышевский Е. И. Кристаллохимия *силицидов* и *германидов*, М., 1971.

Е. И. Гладышевский.
ГЕРМАНИЙ (Germanium; от лат. Germania — Германия), Ge — хим. элемент IV группы *периодической системы элементов*; ат. н. 32, ат. м. 72,59. Серебристо-серое вещество с металлическим блеском. В хим. соединениях проявляет степени окисления +2 и +4. Соединения со степенью окисления +4 более стойки. Природный Г. состоит из четырех стабильных изотопов с массовыми числами 70 (20,55%), 72 (27,37%), 73 (7,67%) и 74 (36,74%) и одного радиоактивного изотопа с массовым числом 76 (7,67%) и периодом полураспада $2 \cdot 10^6$ лет. Искусственно (с помощью различных ядерных реакций) получено много радиоактивных изотопов; наибольшее значение имеет изотоп ^{71}Ge с периодом полураспада 11,4 дня. Существование и св-ва Г. (под названием «экасилиций») предсказал в 1871 рус. ученый Д. И. Менделеев. Однако лишь в 1886 нем. химик К. Винклер обнаружил в минерале *аргиродите* неизвестный элемент, св-ва к-рого совпадали со св-вами «экасилиция». Начало пром. произ-ва Г. относится к 40-м гг. 20 в., когда он получил применение в качестве *полупроводникового материала*. Содержание Г. в земной коре (1—2) 10^{-4} %. Г. относится к рассеянным элементам и редко встречается в виде собственных минералов. Известно семь минералов, в к-рых его концентрация больше 1%, среди них: *германит* $\text{Cu}_2(\text{Cu}, \text{Ge}, \text{Ga}, \text{Fe}, \text{Zn})_2 \cdot (\text{S}, \text{As})_4 \times (6,2\text{—}10,2\% \text{ Ge})$, *рениерит* $(\text{Cu}, \text{Fe})_2(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Ge}, \text{Ga}, \text{Zn})_2 \times (5,46\text{—}7,80\% \text{ Ge})$ и *арги-*

родит Ag_8GeS_8 (3,65—6,93% Ge). Г. накапливается также в каустобиолитах (гумусовых углях, горючих сланцах, нефти). Стойкая при обычных условиях кристаллическая модификация Г. имеет кубическую структуру типа алмаза, с периодом $a = 5,65753 \text{ \AA}$ (GeI). Плотность Г. (т-ра 25°C) $5,3234 \text{ г/см}^3$, $t_{\text{пл}} 937,2^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 2852^\circ \text{C}$; теплота плавления $104,7 \text{ кал/г}$; теплота сублимации 1251 кал/г ; теплоемкость (т-ра 25°C) $0,077 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$; коэфф. теплопроводности (т-ра 0°C) $0,145 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$; температурный коэфф. линейного расширения (т-ра $0\text{—}260^\circ \text{C}$) $5,8 \times 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. При плавлении Г. уменьшается в объеме (примерно на 5,6%), плотность его увеличивается на 4%. При высоком давлении алмазоподобная модификация Г. претерпевает полиморфные превращения, образуя кристаллические модификации: тетрагональную структуру типа $\beta\text{-Sn}$ (GeII), объемноцентрированную тетрагональную структуру с периодами $a = 5,93 \text{ \AA}$, $c = 6,98 \text{ \AA}$ (GeIII) и объемноцентрированную кубическую структуру с периодом $a = 6,92 \text{ \AA}$ (GeIV). Эти модификации по сравнению с GeI отличаются большими плотностью и электропроводностью. Аморфный Г. может быть получен в виде пленок (толщиной примерно 10^{-3} см) при конденсации пара. Плотность его меньше плотности кристаллического Г. Структура энергетических зон в кристалле Г. обуславливает его полупроводниковые св-ва. Ширина запрещенной зоны Г. равна $0,785 \text{ эв}$ (т-ра 0 K), удельное электрическое сопротивление (т-ра 20°C) $60 \text{ ом} \cdot \text{см}$ и с повышением т-ры значительно понижается по экспоненциальному закону. Примеси придают Г. т. н. примесную проводимость электронного (примеси мышьяка, сурьмы, фосфора) или дырочного (примеси галлия, алюминия, индия) типа. Подвижность носителей зарядов в Г. (т-ра 25°C) для электронов — около $3600 \text{ см}^2/\text{в сек}$, для дырок — $1700 \text{ см}^2/\text{в сек}$, собственная кон-

центрация носителей зарядов (т-ра 20°C) $2,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Г. диамагнитен. При плавлении переходит в металлическое состояние. Г. очень хрупок, твердость его по Моосу 6,0, микротвердость 385 кгс/мм^2 , предел прочности на сжатие (т-ра 20°C) 690 кгс/см^2 . С повышением т-ры твердость снижается, выше т-ры 650°C он становится пластичным, поддается мех. обработке. Г. практически инертен к воздуху, кислороду и к неокисляющим электролитам (если нет растворенного кислорода) при т-ре до 100°C . Стойкий к действию солевой и разбавленной серной к-ты; медленно растворяется в концентрированных серной и азотной к-тах при нагревании (образующаяся при этом пленка двуокиси замедляет растворение), хорошо растворяется в «царской водке», в растворах гипохлоритов или гидроокисей щелочных металлов (при наличии перекиси водорода), в расплавах щелочей, перекисей, нитратов и карбонатов щелочных металлов. Выше т-ры 600°C окисляется на воздухе и в токе кислорода, образуя с кислородом окись GeO и двуокись (GeO_2). Окись Г. — темно-серый порошок, возгорающийся при т-ре 710°C , незначительно растворяется в воде с образованием слабой германитной к-ты (H_2GeO_3), соли к-рой (германиты) малостойки. В к-тах GeO легко растворяется с образованием солей двухвалентного Г. Двуокись Г. — порошок белого цвета, существует в нескольких полиморфных модификациях, сильно различающихся по хим. св-вам: гексагональная модификация двуокиси сравнительно хорошо растворяется в воде ($4,53 \text{ г/л}$ при т-ре 25°C), растворах щелочей и к-т, тетрагональная модификация практически нерастворима в воде и инертна к к-там. Растворяясь в щелочах, двуокись и ее гидрат образуют соли метагерманатной (H_2GeO_3) и ортогерманатной (H_4GeO_4) к-т — германаты. Германаты щелочных металлов растворяются в воде, остальные германаты практически нерастворимы; свежееосажденные растворяются в минеральных к-тах. Г. легко соединяется с галогенами, образуя при нагревании (около т-ры 250°C) соответствующие тетрагалогениды — несолеобразные соедине-

ния, легко гидролизующиеся водой. Известны сульфиды Г. — темно-коричневый (GeS) и белый (GeS_2). Для Г. характерны соединения с азотом — коричневый нитрид (Ge_3N_4) и черный пнитрид (Ge_3N_2), отличающийся меньшей хим. стойкостью. С фосфором Г. образует малостойкий фосфид (GeP) черного цвета. С углеродом не взаимодействует и не сплавляется, с кремнием образует непрерывный ряд *твердых растворов*. Для Г., как аналога углерода и кремния, характерна способность образовывать германоводороды типа $\text{Ge}_n\text{H}_{2n+2}$ (германы), а также твердые соединения типов GeH и GeH_2 (гермены). Г. образует металлические соединения (*германиды*) и сплавы со многими металлами. Извлечение Г. из сырья заключается в получении богатого германиевого концентрата, а из него — вещества высокой чистоты. В промышленности Г. получают из тетрахлорида, используя при очистке его высокую *летучесть* (для выделения из концентрата), малую *растворимость* в концентрированной соляной к-те и высокую растворимость в органических растворителях (для очистки от примесей). Часто для обогащения используют высокую летучесть низших сульфида и окисла Г., к-рые легко сублимируются. Для получения полупроводникового Г. применяют направленную *кристаллизацию* и зонную *перекристаллизацию*. Монокристаллический Г. получают вытягиванием из расплава. В процессе выращивания Г. легируют спец. добавками, регулируя те или иные св-ва *монокристалла*. Г. поставляют в виде слитков длиной 380—660 мм и поперечным сечением до 6,5 см². Г. применяют в радиоэлектронике и электротехнике как полупроводниковый материал для изготовления диодов и транзисторов. Из него изготовляют линзы для приборов инфракрасной оптики, дозиметры ядерных излучений, анализаторы рентгеновской спектроскопии, датчики, использующие эффект Холла, преобразователи энергии радиоактивного распада в электрическую. Г. используют в микроволновых аттенюаторах, термометрах сопротивления, эксплуатируемых при т-ре жидкого гелия. Пленка Г., нанесен-

ная на рефлектор, отличается высокой отражательной способностью, хорошей *коррозионной стойкостью*. Сплавы Г. с некоторыми металлами, отличающиеся повышенной стойкостью к кислым агрессивным средам, используют в приборостроении, машиностроении и металлургии. Сплавы Г. с золотом образуют низкотемпературную эвтектику и расширяются при охлаждении. Двухокись Г. применяют для изготовления спец. стекол, характеризующихся высоким коэфф. преломления и прозрачностью в инфракрасной части спектра, стеклянных электродов и термисторов, а также *эмалей* и декоративных *глазурей*. Германиды используют в качестве активаторов фосфоров и люминофоров. См. также *Германийсодержащие сплавы*.

Лит.: Ломашов И. П. Германий и кремний — важнейшие полупроводниковые материалы. М., 1960; Давыдов В. И. Германий. М., 1964; Сонгина О. А. Редкие металлы. М., 1964; Танапаяев И. В., Шпирт М. Я. Химия германия. М., 1967; Глазов В. М., Земсков В. С. Физико-химические основы легирования полупроводников. М., 1967; Химия и технология редких и рассеянных элементов, т. 1—2. М., 1965—69. В. С. Телегус.

ГЕРМАНИЙСОДЕРЖАЩИЕ СПЛАВЫ — сплавы германия с другими хим. элементами. С металлами германий образует *германиды*, с кремнием — непрерывный ряд *твердых растворов*, представляющих интерес для полупроводниковой техники. Полупроводниковые приборы (диоды, триоды, детекторы и т. д.) из сплава германия (85—99%) с кремнием (1—15%) эксплуатируют при повышенной т-ре. Сплавы германия (30—50%) с кремнием (50—70%) и германия (0,05—45%) с бором (55—99,5%) — высокоэффективные *термоэлектрические материалы*. У сплава германия (18%) с кремнием (82%), полученного восстановлением паров SiCl_4 и GeCl_4 в среде водорода при т-ре 1200° С, высокое *электрическое сопротивление* и низкий температурный коэфф. электропротивления. Такой сплав используют для изготовления пленочных резисторов. Добавка германия в количестве 0,75% стабилизирует полупроводниковые св-ва серого

олова до 4-х 60° С, добавка германия в количестве 0,35% увеличивает его *твердость* в два раза. Сплав алюминий (74%) — германий (21%) — кремний (3%) — железо (2%) обладает хорошей вторичной электронной эмиссией и используется для изготовления катодов электронных ламп (см. также *Термоэмиссионные материалы*). Некоторые Г. с. применяются в качестве *припоев*: сплав алюминия (55—77,4%) с германием (13,4—42,8%) и кремнием (2,0—8,6%) — для пайки алюминия, магния и их сплавов (т-ра плавления припоев 432—577° С); сплав олова (70—80%) с кадмием (20—30%) и германием (до 5%) — для пайки алюминия и его сплавов. Сплав золота (87—88%) с германием (12—13%) — низкотемпературный припой в электронной технике (его т-ра плавления 356° С); используется также для покрытий на золоте ($HV = 200$, прочность 38,5 кгс/мм²). В вакуумных высокотемпературных припоях, применяющихся в радиоаппаратуре для соединения металлов с керамикой и состоящих из меди, золота, а также кобальта, никеля, палладия, титана или молибдена (0,1—2%), германий (8—12%) может полностью заменить золото, что наряду со снижением стоимости припоя на полпорядка понижает остаточное давление в приборе. Сплав золота (92%) с германием (8%), слегка расширяясь при охлаждении, хорошо заполняет форму. Применяют его в ювелирной и зубопротезной технике для произв-ва прецизионных отливок. Бронзы, содержащие 25% Ge, растворяются только в «царской водке». Высокой стойкостью к соляной и серной к-там обладают сплавы палладий (10—65%) — серебро (15—20%) — золото (20—65%) — германий (0,5—5%). Кроме того, они отличаются высокой *пластичностью*, легко поддаются обработке. Сплавы олова (до 50%) с германием (до 50%) и сурьмы (до 88,5%) с германием (до 11,5%) применяются в качестве *антикоррозионных покрытий*, стойких в морской воде, в среде с повышенной влажностью и перем. т-рой. Такие покрытия (практиче-

ски беспористые) получают осаждением из электролитов, состоящих соответственно из NaOH, GeO₂ и SnCl₄ или NaOH, Na₂S, Ge и Sb. Добавка германия (0,1—10%) улучшает прокатываемость, повышает сопротивление разрыву и твердость алюминиевых сплавов, улучшает ковкость, повышает предел текучести, сопротивление разрыву и *коррозионную стойкость* магниевых сплавов. Сплавы железа с германием (2—8%) отличаются высокой *магнитной восприимчивостью* (до 35 000 единиц ГС).

Кристаллы магн. сплава марганец (9,7—31,1%) — алюминий (15,1—20,6%) — германий (42,6—51,6%) характеризуются высокой кристаллической *анизотропией*, *индукцией насыщения* (3600 гс) и *коэрцитивной силой* (2200 э), могут использоваться в качестве датчиков направления магн. поля, а также в системах автоматизации. Некоторые Г. с. обладают *сверхпроводимостью*. Так, у сплава ниобий (18%) — германий (5%) — титан (77%) критическое поле 1250 гс при токе 10 а и диаметре проволоки 0,25 мм и критическое поле 450 гс при токе 70 а и том же диаметре. Введение германия в сплавы урана и алюминия, используемые как *ядерное горючее*, подавляет образование алюминидов UAl₃, придающего хрупкость сплаву, улучшая тем самым способность сплава к горячей прокатке. Добавка германия (15%) повышает т-ру размягчения халькогенидных стекол, их пропускную способность в инфракрасной области. Большинство Г. с. получают металлургическими методами.

Лит.: Эльхонес Н. М., Аверьянова В. П., Маслов В. Н. Германий и его соединения. Области освоенного и возможного применения. М., 1959; Тананаев И. В., Шпирт М. Я. Химия германия. М., 1967; Самсонов Г. В., Бондарев В. Н. Германий. М., 1968. Б. М. Рудь.

ГЕТЕРОГЕНИЗАЦИЯ (от греч. *heterogenēs* — разнородный) — создание структуры, состоящей из различных по физическим свойствам или химическому составу частей (областей, фаз). Каждая из таких частей отделена от смежной физ. поверхностью раздела, в области к-рой скачкообразно изменяются *плотность*, хим. состав, параметры кристаллической решетки и др. К Г.

прибегают в основном для повышения жесткости, вязкости и жаропрочности материалов, а также для придания им некоторых спец. свойств. В металлургии Г. достигается в большинстве литых металлических сплавов, структура к-рых состоит из двух или нескольких фаз, а также в процессе спец. технологической обработки — направленной кристаллизации, старения сплавов и др. В гетерогенных сплавах содержание более твердой структурной составляющей (фазы) достигает 50 об.%, и для улучшения общих физико-мех. св-в имеют значение величина и форма упрочняющей фазы, а также характер ее распределения в осн. структуре. Гетерогенную структуру получают также подбором компонентов при синтезе материалов, напр., методами порошковой металлургии. Различают три осн. класса материалов с такой структурой (*композиционных материалов*): *дисперсноупрочненные материалы* (упрочненные дисперсными частицами фаз, специально вводимыми на начальных стадиях технологии), *материалы гетерофазные (псевдосплавы, керметы)* и *материалы, армированные волокнами*. Композиционные материалы обычно состоят из пластичной основы, служащей связкой, и включений различных фаз, отличающихся составом и микроструктурой. Структура дисперсноупрочненных материалов представляет собой ос-

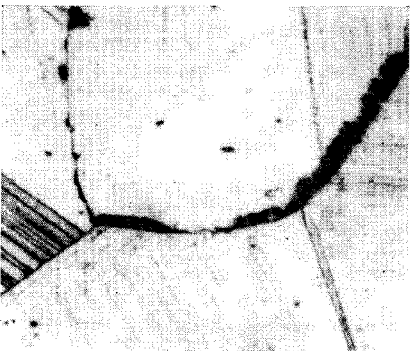
нову с равномерно распределенными в ней частицами размером до 0,1 мкм (количество таких частиц — до 15 об.%).

Структура гетерофазных материалов характеризуется размером частиц (зерен) более твердой фазы, превышающим 1,0 мкм (как правило, их концентрация — более 25 об.%). В армированных материалах диаметр волокон изменяется от долей до нескольких десятков и сотен микрометров (их содержание — до 80 об.% и выше). Армированные материалы отличаются значительно большей величиной одного из размеров элементов армирующей фазы (волокон), а упрочняющие частицы в материалах двух других классов, как правило, равноосны (сфероидальны). См. также *Армированные материалы, Гетерогенная структура*.

Лит.: Композиционные материалы волокнистого строения. К., 1970; Лах-т и И. Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. М., 1977; Основы материаловедения. М., 1976; Современные композиционные материалы. Пер. с англ. М., 1970. Л. Ф. Колесниченко.

ГЕТЕРОГЕННАЯ СТРУКТУРА — структура неоднородного материала, элементы которой распределены в среднем неравномерно. К гетерогенной относится, напр., структура многофазного сплава, элементами которой являются различные фазы (рис.). Резкую границу между неоднородной (гетерогенной) и однородной (см. *Гомогенная структура*) структурами подчас установить трудно: напр., при визуальном рассмотрении (или с помощью лупы) структура может выглядеть гомогенной, а при микроскопическом исследовании (с помощью микроскопа) — гетерогенной. Понятие гетерогенной структуры включает в себя макро- и микронеоднородность в распределении элементов структуры. В связи с этим различают хим. и физ. неоднородность. Х и м и ч е с к у ю н е о д н о р о д н о с т ь (неодинаковый хим. состав различных элементов одного и того же объема материала) наблюдают как в пределах отливки или слитка, так и в пределах зерна (кристаллита) (см. также *Ликвация*). Термическая обработка материала, напр. сплава, может привести к

Гетерогенная структура сплава кобальт — ниобий (3,91 ат.%). Темные участки — выделения образующейся при термообработке фазы по границам зерен матричной фазы. Полосчатый участок — мартенситная фаза, $\times 400$.



возникновению Г. с. Если однофазный сплав при данной т-ре представляет собой термодинамически неустойчивую систему, то он может распасться на фазы с различным хим. составом. В этом случае структура может определяться видом и распределением нарушений кристаллического строения (см. *Дефекты в кристаллах*), вблизи которых и происходит образование кристаллов новых фаз. В формировании Г. с. существенную роль могут играть *границы зерен* матричной (основной) фазы, а также *линии сдвига* и *границы двойников* (см. *Двойниковая структура*), что обуславливается уменьшением энергии поверхностей раздела при скоплении на них примесных атомов. **Физическая неоднородность** (нарушение равномерности в распределении структурных элементов, не связанное с различием хим. состава) проявляется в виде различных *усадочных раковин*, *усадочной пористости*, *трещин*, *участков мартенситной фазы* и др.

Материалы с Г. с. широко используют в технике. Создавая необходимую неоднородность и тем самым управляя структурой, можно получать материалы с заданными свойствами, напр. *композиционные материалы*, в которых используются лучшие свойства компонентов. См. также *Гетерогенизация*.

Лит.: Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. 1. М., 1961; Старение сплавов. Пер. с англ. М., 1962; Физическое металловедение, в. 2. Пер. с англ. М., 1968. В. В. Кокорин.

ГЕТТЕРЫ (англ. getters), **газопоглотители** — вещества с высокой поглощающей способностью по отношению к кислороду, водороду, азоту, углекислому газу, парам воды, окиси углерода и др. газам, кроме инертных. Наиболее широко применяются в электровакуумных приборах (в 1894 впервые в качестве Г. использовался красный фосфор — для улучшения вакуума в лампах накалвания). Поглощение газов обуславливается: *сорбцией* Г. во время испарения и конденсации газов (т. е. во время образования геттерного зеркала), что сопровождается

связью их замуровыванием пленками расплавленного материала; *диффузией* газа в объем Г., нагретого до определенной т-ры; образованием хим. соединений газа с нагретым Г. и перенесением этого соединения на более холодные поверхности. Все эти процессы протекают более интенсивно при ионизации газа и диссоциации его молекул на атомы, что происходит на накаливаемых поверхностях. Различают Г. *испаряющиеся* и *неиспаряющиеся*. **Испаряющиеся** Г. связывают газы как при испарении, так и при осаждении на поверхностях. Наиболее распространенный испаряющийся Г. — *барий*, к-рый защищают от окисления (из-за его высокой хим. активности) различными способами. Один из таких способов заключается в заполнении барием (в вакууме) медных, никелевых или железных трубок, к-рые после протяжки разрезают на части длиной в несколько миллиметров. Концы трубок герметизируют обжатием. Другой способ — сплавление бария с химически менее активным металлом, образующим с ним устойчивые *металлиды*. Наибольшее применение получили сплавы бария с алюминием, в частности Г. *альба* (алюминий + барий с соотношением масс компонентов 1 : 1). Используют Г. *бато* (барий-алюминиевого сплава с соотношением масс 1 : 1 содержится 24%, тория — 73%, окиси железа — 3%) и *бати* (барий-алюминиевого сплава — 57%, титана — 36%, окиси железа — 7%). Наличие в них тория или титана уменьшает испаряемость алюминия вследствие образования термически стойких сплавов алюминия с этими элементами. Последнее обстоятельство весьма важно, поскольку избыточное испарение алюминия может привести к экранировке геттерного зеркала. Создан также *баталовый* Г. (в одном из вариантов — смесь карбонатов бария и стронция, нанесенная на танталовую спираль), недостатком которого является обильное выделение газов при разложении *карбонатов*. Геттерное (бариевое) зеркало, образующееся при испарении баталового Г., поглощает водород, кислород, азот и пары воды в диапазоне т-р 100—200° С. Из трубчатых Г. наибольшее

распространение получил Г. ф. — барий в железной трубке с внешним диаметром 0,6—2,5 мм. При нагревании до т-ры 900—1100° С барий диффундирует сквозь стенки трубки, осаждаясь на холодной поверхности (стенках лампы). В качестве не испаряющихся Г. часто используют титан, цирконий, торий и тантал. Рабочая т-ра, обеспечивающая эффективное поглощение газов этими Г., довольно высока и для разных газов неодинакова (для водорода 300 ÷ 400° С, кислорода 700 ÷ 800° С, азота 700 ÷ 1000° С, для водяных паров 200 ÷ 400° С), что является недостатком Г. такого вида. Более низкими рабочими т-рами и более высокой сорбционной способностью обладают Г. на основе сплавов титана или циркония с алюминием. Наибольшее распространение получил Г. цинк — сплав циркония (84%) и алюминия (16%). Неиспаряющиеся Г. изготавливают также на основе цериового мешметалла (60—70%) и алюминия. Смесь одной части массы порошка такого сплава с четырьмя частями тория наз. цетом. Неиспаряющиеся Г. на основе этих сплавов эффективно поглощают газы в диапазоне т-р 300 ÷ 600° С. Для повышения скорости поглощения газов и увеличения сорбционной емкости поглощающую поверхность Г. улучшают. С этой целью иногда осуществляют испарение Г. в среде инертного газа, что придает пленке бария более рыхлую и гранулометрическую структуру. Для улучшения поглощающей способности не испаряющиеся Г. иногда изготавливают в виде пористых таблеток. Г. используют в электронных высоковакуумных или ионных приборах (см. *Электрораспространение*).

Зависимость гигроскопичности материала от парциального давления водяного пара (адсорбционная изотерма газ — твердое тело).



поглощения газов и паров, остающихся после откачки или выделяющихся при эксплуатации приборов; в наполненных инертными газами приборах — для очистки наполняющего их газа от посторонних примесей, а также в качестве рабочего вещества вакуумных насосов. Г. находят также применение в порошковой металлургии для очистки защитных газовых сред при спекании некоторых металлов (титана, хрома, тантала), активно растворяющих газы (титана) или образующих трудно восстанавливающиеся окислы (хрома, тантала). В этом случае Г. в виде тонких порошков титана, гидрида титана, хрома, феррохрома и кремния вводят в засыпку из порошков тугоплавких окислов (Al_2O_3 , MgO , Zr_2O_3), которой покрывают спекаемые изделия.

Лит.: Глебов Г. Д. Поглощение газов активными металлами. М. — Л., 1961; Федорченко И. М., Андриевский Р. А. Основы порошковой металлургии. К., 1963; Черешин Н. В. Вакуумные свойства материалов для электронных приборов. М., 1963; Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. Пер. с англ. М., 1964. Б. Ч. Дюбуа.

ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ (от греч. *ὑγρὸν* — влага и *σκοπέω* — наблюдаю) — свойство материала поглощать воду из воздуха. Твердые материалы обычно адсорбируют (см. *Адсорбция*) из окружающей среды некоторое количество водяных паров. Зависимость количества адсорбированной воды от парциального давления водяных паров выражается т. н. адсорбционной изотермой (рис.). При повышении т-ры адсорбция понижается, при увеличении давления — повышается. В одних случаях Г. обусловлена образованием новых химических соединений.

Так, при поглощении воды фосфорным ангидридом образуется фосфорная кислота, при поглощении воды окисью кальция — гидроксид кальция. В др. случаях Г. обусловлена процессами сольватации, т. е. образованием различных кристаллогидратов или гидратов в растворе. Подобное явление наблюдается, напр., при связывании воды безводным или неполностью гидратированным

сульфатом меди, сульфатами и хлоридами кальция, кобальта и др. материалов. Г. может быть обусловлена также адсорбцией воды на поверхности частиц пористого или порошкообразного материала и в тонких капиллярах высушенных или прокаленных гелей (дисперсных систем, образующихся в коллоидных растворах при

хлорат магния, безводная серная кислота, фосфорный ангидрид) используют для сушки воздуха.

Лит.: Бродский А. И. Физическая химия, т. 1. М.— Л., 1948; Бабко А. К., Пятницкий И. В. Количественный анализ. М., 1968; Кольтоф И. М., Сэндэл Е. Б. Количественный анализ. Пер. с англ. М.— Л., 1948.

В. А. Оболончик.

ГИДРАТАЦИЯ (от греч. ύδωρ — вода) — связывание воды веществом, находящимся в любом агрегатном

Гигроскопичность материалов

Материал	Количество водяных паров (в мг), остающихся в 1 л воздуха в равновесии с материалом	Материал	Количество водяных паров (в мг), остающихся в 1 л воздуха в равновесии с материалом
Безводный медный купорос	1,40	Твердый едкий кали	0,014
Безводный хлористый кальций	1,25	Оксид алюминия	0,005
Твердый едкий натр	0,80	Безводный сульфат кальция	0,005
Безводная хлористая медь	0,36	Безводная серная кислота	0,004
Силикагель	0,03	Оксид кальция	0,003
		Безводный перхлорат магния	0,002

постепенной коагуляции). С подобными процессами связана Г. силикагеля, окиси алюминия и др. материалов. Независимо от причины интенсивность связывания воды тем или др. материалом характеризуют количеством водяных паров, остающихся в воздухе в равновесии с материалом (табл.). Отношение количества воды, поглощенной пористым материалом, к общему количеству этого материала (гигроскопическая влажность) возрастает с увеличением влагосодержания окружающей среды, достигая максимума при относительной влажности среды 100%. Макс. гигроскопическая влажность безводного хлористого кальция — около 97%, песка — 4 ÷ 9%. Г. учитывают при сушке или увлажнении материалов, при их длительном хранении или перевозке, особенно морем. Некоторые гигроскопичные материалы (напр., безводный медный купорос, хлористый кальций, плавленый едкий натр и едкий кали, силикагель, окис алюминия, пер-

состоянии. Обычное проявление Г. — присоединение или временное удержание молекул воды отдельными атомами, атомными группами, молекулами или ионами вещества, а также ассоциатами (скоплениями) молекул или ионов. Г. вещества в растворе — частный случай сольватации (связывания растворителя растворенным веществом). В отличие от гидролиза, при Г. взаимодействие идет не по ионному механизму. Молекулярные механизмы Г. и природа сил, вызывающих ее, бывают различными. Г. наз. как химич. реакции присоединения к распадом молекул воды и образованием новых индивидуальных молекул, так и связывание воды без изменения ее хим. природы. В последнем случае Г. обусловлена гл. обр. силами межмолекулярного взаимодействия, а также возникновением между молекулами воды и гидратируемых веществ водородных или донорно-акцепторных связей. Г. с изменениями хим. структуры молекул являются, напр., реакции воды с

кислоти хим. элементов, приводящие к образованию кислородных к-т, оснований и амфотерных соединений.

Так, в результате Г. серного ангидрида образуется серная к-та, вследствие Г. окиси кальция — гидроксид кальция и т. п. Хим. Г. другого типа — каталитическое присоединение воды по кратным связям ненасыщенных органических соединений. Так, из олефинов присоединением воды получают спирты, из кетена — уксусную к-ту. В результате Г., происходящей без глубоких хим. изменений воды и гидратируемых веществ, образуются гидраты — соединения постоянного или переменного состава. К гидратам постоянного состава относятся кристаллогидраты — твердые тела, включающие молекулы воды в состав кристаллической решетки (эта вода наз. кристаллизационной). Кристаллогидраты образуются при кристаллизации из водных растворов или при поглощении паров воды безводными соединениями. В зависимости от термодинамических условий (т-ры и давления водяного пара) количество воды в кристаллогидрате может изменяться. Некоторые вещества образуют кристаллогидраты разного состава. Так, сульфат меди CuSO_4 образует кристаллогидраты состава $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. В виде кристаллогидратов встречаются мн. неорганические электролиты, простые вещества, некоторые углеводороды; в их числе «газовые гидраты» — кристаллические соединения — включения (клатраты), образующиеся при взаимодействии с водой инертных газов, метана, этана и др. В гидратах переменного состава молекулы воды находятся в междоузлиях кристаллической решетки и способны мигрировать, не нарушая ее целостности. Такие гидраты можно рассматривать как *твердые растворы*, равновесное содержание воды в к-рых определяется ее концентрацией (давлением паров) в окружающей среде и температурой.

Гидраты переменного состава образуют, напр., *цеолиты*, некоторые *глины*. Г. поверхностей твердых тел сильно сказывается на поверхностных явлениях — *адсорбции*, *смачивании*, *адгезии*, контактных взаимо-

действиях и др. Г. ионов в водных растворах электролитов в той или иной степени разрушает структурную сетку воды, образованную системой водородных связей. Вокруг ионов возникают гидратные оболочки с внутренней и внешней гидратационными сферами. Первую составляют молекулы воды, находящиеся в ближайшем окружении иона (первичная, или ближняя Г.), вторую — более отдаленные молекулы воды, испытывающие ослабленное воздействие силового поля гидратированного иона (вторичная, или дальняя Г.). При полной Г. все молекулы воды входят в состав гидратных оболочек ионов растворенного вещества. Г. некоторых ионов (напр., ионов K^+ , Pb^+ , Cs^+ , Br^- , I^-) сопровождается не уменьшением, а увеличением подвижности окружающих их молекул воды. Это явление наз. отрицательной Г. Выделение связанной воды, распад гидратных комплексов, удаление с поверхностей адсорбированной воды, вообще ослабление взаимодействия молекул воды с молекулами гидратированного вещества наз. *дегидратацией*. Г. и дегидратация используются в производственной практике. Так, гидратационное твердение минер. вяжущих веществ (*цементов*, *гипса*) составляет основу важнейших процессов строительной технологии. Г. и дегидратация применяются в сорбционных (см. *Сорбция*) и экстракционных процессах пищевой технологии и т. д.

Лит.: Самойлов О. Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М., 1957; Связанная вода в дисперсных системах, в. 1—3. М., 1970—74; Матяш И. В. Вода в конденсированных средах. К., 1971; Карякин А. В., Кривенцова Г. А. Состояние воды в органических и неорганических соединениях. М., 1973; Цундель Г. Гидратация и межмолекулярное взаимодействие. Пер. с англ. М., 1972.

Л. А. Шич.
ГИДРИДЫ (от греч. *ἵδωρ* — вода и *εἶδος* — вид, род) — соединения, содержащие электроотрицательный водород. Г. наз. также все водородные соединения металлов и неметаллов. Различают Г. простые и комплексные (двойные). В соответствии

с расположенном хим. элементов в периодической системе и природой связи хим. элемент — водород простые Г. подразделяют в основном на ионные (или солеобразные), металлоподобные (или металлические) и летучие (или ковалентные). К ионным относятся Г. щелочных и щелочноземельных металлов (напр., NaNH_2 , CaH_2), образующиеся со сжатием кристаллической решетки металла; их физ. св-ва аналогичны физ. св-вам соответствующих галогенидов. К металлоподобным относятся Г. переходных металлов больших периодов, образующиеся с расширением металлической решетки, при этом атомы водорода занимают промежутки между атомами металла (тетраэдрические и октаэдрические пустоты). Их отличают переменный хим. состав, значительные электропроводность и теплопроводность. Летучие Г. образуются неметаллами IV, V, VI и VII групп периодической системы, а также бором. Между ионными, металлоподобными и летучими Г. нет резких границ, известны некоторые промежуточные соединения, отнесение к-рых к тому или др. типу весьма условно. Выделяют, напр., Г. ионно-летучие (бериллия, магния, алюминия) и ионно-металлоподобные (меди, цинка, редкоземельных элементов). Кроме Г., физ. константы к-рых можно определить, есть нестойкие Г. (обычно ф-лы ЭН , где Э — хим. элемент), часто несущие заряд. Некоторые простые Г. (бериллия, магния, меди, цинка, галлия и индия) могут существовать в виде полимеров и сложных молекул вследствие образования цепей и полиэдров. Особенно сложным строением отличаются Г. бора, или бороводороды, в к-рых, для объяснения их электронодефицитности, допускают существование двойных трехцентровых связей. При термическом разложении простейшего бороводорода — диборана можно получить все др. Г. бора. Практически ценен стойкий пентаборан B_5H_9 , жидкий при обычных условиях, а также твердый декаборан $\text{B}_{10}\text{H}_{14}$, из к-рого при частичном замещении бора атомами уг-

лерода, алюминия, кремния и др. элементов можно получить т. н. карбораны, отличающиеся высокой термостойкостью. К комплексным и к-рым относятся Г. с комплексными анионами, напр. борогидриды лития LiBH_4 и алюминия $\text{Al}(\text{BH}_4)_3$, алюмогидрид лития LiAlH_4 . Способность образовывать комплексные анионы характерна для координационно ненасыщенных простейших Г. алюминия, бора и их аналогов — ЭН_3 . Синтезированы боро- и алюмогидриды всех металлов, а также еще более сложные Г., напр. $\text{Li}[\text{Al}(\text{BH}_4)_4]$, $\text{Ca}[\text{Al}(\text{BH}_4)_4]$, к-рые можно считать «тройными гидридами». Св-ва простых и комплексных Г. зависят от положения гидридообразующего элемента в периодической системе и степени электроотрицательности водорода. Ионные Г. представляют собой бесцветные кристаллические вещества, термически стойкие, некоторые из них (напр., LiH) плавятся без разложения. Электроотрицательность водорода проявляется бурной реакцией Г. с водой и всеми веществами, содержащими протонный водород, с образованием мол. водорода: $\text{H}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2$. Природа и св-ва металлоподобных Г., как и металлических сплавов, могут быть исследованы на основе рассмотрения диаграмм состояния металл — водород и диаграмм состав — свойство. Металлоподобные Г. — хрупкие твердые вещества серого или черного цвета. Многие из них, напр. Г. тантала, ванадия и их аналогов, отличаются значительной стойкостью к воде и к-там, другие же, напр. тригидриды редкоземельных металлов, Г. меди и цинка, ведут себя подобно ионным водородным соединениям. Летучие Г. различно проявляют реакционную способность. Низшие Г. бора, силаны, фосфин и арсин бурно реагируют с влагой и даже со смазкой шлифов, в то время как Г. элементов VI и VII групп периодической системы проявляют кислотные св-ва. Все летучие Г., особенно бора, фосфора и мышьяка, токсичны. Комплексные Г., как правило, более стойки по сравнению с простыми. Боро- и алюмогидриды щелочных и щелочноземельных металлов плавятся без значительного разложения, хорошо растворяются в воде

и др. органических растворителях. Это дает возможность применять их для синтеза комплексных Г. др. металлов обменными реакциями с солями этих металлов в среде органического растворителя. Комплексные Г. переходных металлов малостойки и разлагаются на простые Г. и элементы. Ионные и металлоподобные Г. обычно получают прямым гидрированием в струе сухого водорода при нагревании; летучие Г. — кислотным гидролизом соответствующих *металлидов*, восстановлением галогенидов соответствующих хим. элементов комплексными боро- и алюмогидридами; комплексные Г. щелочных металлов — в основном реакцией простых Г. с галогенидами, а также прямым синтезом из элементов при повышенных т-ре и давлении. Получены боро- и алюмогидриды почти всех металлов обменными реакциями их галогенидов с боро- и алюмогидридами щелочных металлов. Простые и комплексные Г. могут быть компонентами сложных равновесных систем; изучено большое число диаграмм плавкости и растворимости с участием гидридов. Нестехиометрические Г. переходных металлов особенно благоприятны для изучения хим. природы фаз переменного состава. Возможность фиксировать (методами инфракрасной спектроскопии и ядерного магнитного резонанса) валентное состояние адденда комплексных соединений с гидридным водородом дает ценную информацию о строении сложных комплексных соединений. Простые и комплексные Г. нашли широкое применение. Г. щелочных металлов — активные восстановители, напр. растворы системы $\text{NaH} - \text{NaOH}$ используют для удаления *окалины* с поверхности изделий из спец. сталей и тугоплавких металлов без изменения их размера. Г. кальция применяют для получения титана восстановлением его окиси и галогенидов. Многие Г. — перспективное ракетное горючее и источник быстрого получения водорода. Металлоподобные Г. используют в неорганическом синтезе, в порошковой металлургии, для поглощения нейтронов. *Дейтериды* и *тридегидриды* — возможное горючее для термоядерных реакторов. На основе Г. титана, цир-

кония и урана получены эффективные обратимо действующие источники чистого и сухого водорода, используемые, в частности, в топливных элементах. Термическим разложением летучих Г. бора, кремния, мышьяка и др. элементов, предварительно рафинированных перегонкой и конденсацией, получают чистейшие *полупроводниковые материалы* в компактном виде и в виде пленок. Комплексные боро- и алюмогидриды используют для получения водорода, в качестве избирательных восстановителей в тонком органическом синтезе. Продукты термического разложения борогидридов переходных металлов обладают св-вами *катализаторов* для реакций гидрирования, изомеризации, орто- и паравращения водорода.

Лит.: Михеева В. И. Гидриды переходных металлов. М., 1960; Жигач А. Ф., Стасиневич Д. С. Химия гидридов. Л., 1969; Некрасов В. В. Основы общей химии, т. 4—2. М., 1973; Девятых Г. Г., Зорин А. Д. Летучие неорганические гидриды особой чистоты. М., 1974; Маккей К. Водородные соединения металлов. Пер. с англ. М., 1968. В. И. Михеева. **ГИДРОБИОТИТ** (от греч. *ὕδωρ* — вода и *biotum*), $\text{K}_{1-x}\text{Mg}_{x/2}(\text{H}_2\text{O})_n \times (\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_{2,5-3} \times [(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ (где обычно $n \leq 2$, $0 < x \leq 0,5$) — минерал класса *силикатов*. Состав минерала — промежуточный между биотитом и *вермикулитом*.

Относится к *гидрослюдам*. Хим. состав (%): $\text{MgO} - 8 \div 25$; $\text{FeO} - 1 \div 15$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1 \div 25$; $\text{K}_2\text{O} - 3 \div 10$; $\text{H}_2\text{O} - 5 \div 16$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 13 \div 20$. В Г. по сравнению с неизменным биотитом отношение $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{FeO}$ и общее содержание воды больше, а содержание MgO и K_2O меньше. Г. отличается смешаннослойной структурой, образованной слоями биотита и вермикулита. В Г. с повышенным содержанием железа вермикулитовых слоев — не более 10%. Структура Г. высокой степени *гидратации* характеризуется чередованием биотитовых (А) и вермикулитовых (В) слоев только по закону ААВААВ ... и АВАВ ... При быстром нагревании гидробиотит вспучивается (см. *Вспучиваемость*).

Пластины Г. внешне напоминают биотит, достигая значительных размеров (более 10 см). Легко расщепляется по (001) на мягкие сланые пластины. Плотность 2,6—2,8 г/см³. Твердость 1—2. Цвет такой же, как у биотита, но блеск более тусклый. Прокаленный Г. — бронзовый, серебристо-серый (см. Цвет минералов), в тонких пластинках — прозрачный; $n_g \approx n_m = 1,56$ —1,62; $2V = 0$ —10°. Г. всегда встречается вместе с вермикулитом, иногда он преобладает в месторождениях вермикулита. Образуется при гипергенном изменении биотита в процессе формирования коры выветривания основных и ультраосновных пород. Малая объемная масса позволяет использовать вспученный Г. в качестве теплоизоляционного материала, звукоизоляционного материала и наполнителя бетона. Г. характеризуется высоким катионным обменом (50—70 мг-экв на 100 г) и может быть использован как ионообменник.

Лит.: Дьяконов Ю. С. О закономерностях чередования слоев в смешанослойных структурах вермикулит-биотит. «Кристаллография», 1962, т. 7, в. 6; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Амфлетт Ч. Неогранитические иониты. Пер. с англ. М., 1986.

В. С. Мельников.

ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы для защиты строительных конструкций, зданий и сооружений от увлажнения и фильтрации воды. Некоторые Г. м. защищают от воздействия агрессивных сред. Г. м. обладают водонепроницаемостью (см. Водонепроницаемость), прочностью и долговечностью. Различают Г. м. антифильтрационные, антикоррозионные и герметизирующие; окрасочные, штукатурные, оклеечные и засыпные. К окрасочным Г. м. относятся силикатные и цементные краски. Силикатные краски представляют собой суспензию тонкоизмельченной пигментной смеси в водном растворе калиевого жидкого стекла. В состав пигментной смеси входят цинковые белила, щелочостойкий пигмент и наполнители (мел, тальк, песок, маршаллит, гранулированный шлак). Свойства составляющих силикатных красок: тонаина

помола, пигментной смеси, должна обеспечить полное прохождение через сито 028 и остаток на сите 016 не более 15%; кремнеземистый модуль жидкого стекла 2,5; удельная масса 1,2; расход стекла — 1÷1,5 кг на 1 кг сухой пигментной смеси. Смешивание составляющих осуществляют перед использованием красок. Срок годности красок 10—12 ч. Расход краски — 500 г/м². После нанесения на изолируемую поверхность жидкое стекло вступает в реакцию с пигментной частью краски и материалом основания, происходят полимеризация силиката калия, желатинизация покрытия и постепенное превращение его в гидратированный кварцевый материал, обладающий влаго- и атмосферостойкостью, кислотостойкостью и щелочестойкостью. Цементные краски состоят из цемента, воды и добавок, придающих краскам гидрофобность, гигроскопичность, обеспечивающих необходимый водный режим твердения, улучшающий их мех. и малярные св-ва. Оптимальная степень измельчения краски характеризуется удельной поверхностью 5000—6000 см²/г. Силикатные и цементные краски применяют для защиты от атм. увлажнения кирпичных и бетонных стен, в т. ч. стен из ячеистого бетона. К штукатурным Г. м. относятся коллоидный цементный раствор, активированный торкрет, цементно-песчаные растворы (с уплотняющими добавками, добавками микронаполнителей и различными комбинарованными добавками), водонепроницаемый расширяющийся цемент, водонепроницаемый безусадочный и гипсоглиноземистый расширяющийся цемент. Коллоидный цементный раствор — смесь вибромолотых портландцемента и песка с удельной поверхностью 5000 ± 500 см²/г, мелкого песка и поверхностно-активных веществ. Портландцемент применяют марки не ниже 400, кварцевый песок — с модулем крупности менее 2. Перемешивание смеси вяжущего и песка ведут в бетоно- или растворомешалках, в вибросмесителях. Коллоидный цементный раствор применяют для противофильтрационной защиты подземных и подводных сооружений, для защиты подвальных помещений и сооружений, подвер-

используются действующие нефтепродуктов и др. органических веществ, где недопустимо использование традиционных асфальтовых материалов. Активированный торкрет — тонкомолотая цементно-песчаная смесь, содержащая цемент марки не ниже 400 и немолотый песок с модулем крупности 2,2—2,3. Влажность торкрета 9,5—10,5%, наносят его с помощью цемент-пушки. Активированный торкрет применяют для защиты поверхностей гидротехнических сооружений, находящихся под напором, подвергающихся воздействию воды и атмосферы, интенсивным гидродинамическим, мех. и абразивным воздействиям. К цементно-песчаным растворам с уплотняющими добавками относятся растворы, в которые с водой затворения введены неорганические соли, жидкое стекло и др. добавки, влияющие на процесс структурообразования и обеспечивающие повышение фильтрационной плотности бетона. Этими добавками служат азотнокислый кальций, хлорное железо, хлориды алюминия и кальция. Цементно-песчаные растворы с добавками жидкого стекла (3—5%) используют для ремонта сооружений в местах фильтрации воды. При изготовлении бетонов повышенной водонепроницаемости применяют тонкоизмельченные микронаполнители: каменную муку, молотые доменные шлаки, известняки, доломиты, трепел, диатомиты, пемзу, трасс и др. Водонепроницаемый расширяющийся цемент — быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, состоящее из *глиноземистого цемента, строительного гипса* и молотого высокоосновного гидроалюмината кальция. Отличается высокой водонепроницаемостью, края достигается его объемным расширением и самоуплотнением при схватывании. Свойства: остаток на сите 02 — не более 12%, через сито 008 проходит не менее 75%; линейное расширение через сутки — не менее 0,05%; прочность на сжатие через 3 суток — 300 кгс/см²; морозостойкость не менее 100 циклов. Водонепроницаемый расширяющийся цемент применяют для создания гидроизоляционного слоя на бетонных и железобетонных сооружениях, не подверженных гидростатическому

давлению, гидроизоляционного слоя на напорных железобетонных трубах, гидроизоляции швов в туннелях и шахтах и т. д. Водонепроницаемый безусадочный цемент — гидравлическое вяжущее, состоящее из смеси глиноземистого цемента, строительного гипса и маломagneзиальной извести-пушонки. Применяется для устройства гидроизоляционной торкретной оболочки бетонных и железобетонных подземных сооружений, фильтрующих воду или эксплуатируемых в условиях повышенной влажности в непросадочных грунтах. Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент — быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, получаемое совместным помолом высокоглиноземистых доменных шлаков и природного двуводного гипса. Свойства: через сито 008 проходит не менее 90%; линейное расширение при комбинированном водовоздушном твердении через сутки — не менее 0,15%, через 28 суток — не менее 0,1%; водонепроницаемость чистого цементного теста на гипсоглиноземистом вяжущем через сутки — 10 ат, раствора через 3 суток — 100 ат; прочность на сжатие (марка) — 300, 400 и 500. Применяется для приготовления безусадочных расширяющихся водонепроницаемых растворов, бетонов и штукатурок. К оклеечным Г. м. относятся фольгоизол, стеклоизол и гидроизол. Фольгоизол — рулонный двухслойный материал, состоящий из тонкой рифленой или гладкой фольги, покрытой с нижней стороны защитным слоем из модифицированного резинобитумного вяжущего. Он водонепроницаем, долговечен, гибок, хорошо режется. Свойства: прочность на разрыв не менее 30 кгс/см²; водопоглощение не более 0,5%; гибкость на стержне диаметром 20 мм до т-ры — 20° С. Толщина фольги 0,1—0,3 мм, толщина защитного слоя 0,8—5 мм. Применяется для гидроизоляции зданий и сооружений. Стеклоизол — рулонный материал, получаемый двухсторонним нанесением на поверхность стеклохолста ВВК резинобитумной массы. Он водонепроницаем, биостоек, долговечен. Свойства: прочность на разрыв

не менее 7 кгс/см²; водопоглощение не более 1%. Применяется для гидроизоляции подземных и гидротехнических сооружений. Гидроизол — рулонный материал, получаемый пропитыванием асбестовой бумаги нефтяными окисленными битумами. Он водонепроницаем, гнилоустоек, его марки ГИ-1 и ГИ-2. Свойства: отношение массы битума к массе абсолютно сухой асбестовой бумаги — 55—60%; водонепроницаемость под давлением водяного столба высотой 5 см — 20—30 суток; водонасыщение через 24 ч не более 10—13%, потеря прочности водонасыщенных образцов не более 25—32%. Применяется для создания гидроизоляционного слоя в подземных и др. сооружениях. К засыпным Г. м. относятся материалы на основе золы-уноса, зол ТЭС, лессов, мелких песков и пр. Применяют их только в гидрофобизированном виде, т. е. с нанесенными на частицы материала защитными водоотталкивающими пленками (битум, кремнеорганические жидкости и пр.). Объемная масса засыпных материалов от 450 до 600 кг/м³, они выдерживают напор воды до 1,5 м. Свойства Г. м. регламентируются ГОСТами 11052—74, 20429—75 и 7415—55, а также ТУ СССР 667—72.

Лит.: Указания по отделке наружных поверхностей изделий из ячеистых бетонов цементными красками. М., 1960; Карасев К. И., Ябко Б. М. Силикатные и цементные краски в отделке зданий г. Москвы. М., 1966; Руководство по применению водонепроницаемых цементно-песчаных растворов с добавкой азотнокислого кальция для гидроизоляционных работ в строительстве. М., 1969; Руководство по применению коллоидного цементного раствора и активированного торкрета для гидроизоляции конструкций энергетических сооружений. Л., 1973; Яковлев В. Н., Климова М. М. Коллоидные цементные растворы и другие виды цементной гидроизоляции для гидротехнического строительства. Л., 1974.

Н. Ю. Прищипникова, Б. В. Спектор.

ГИДРОМУСКОВИТ (от греч. ύδωρ — вода и мусковит), $K_{1-x}(H_2O)_n(Al, Mg, Fe)_2[(Al, Si)_4O_{10}](OH)_2$ (где $x < 0,5$; $Si : Al > 3$) — минерал класса силикатов. Отличается от мусковита повышенным содержанием воды и некоторым дефицитом калия. Относится к гидрослюдам. По хим. составу выделяют Г. натрие-

вый, железистый и магнийевый. У Г., по сравнению с мусковитом, содержание K_2O меньше (6—3%), а низкотемпературной (молекулярной) воды больше (5—6%). Отличается повышенным содержанием магния и трехвалентного железа, а также обменного магния, кальция и натрия. Предположительно, большинство Г. имеют смешанослоистую структуру, в которой слои мусковита чередуются с разбухающими слоями бейделлита. Слои в Г. существенно диоктаэдрические с параметрами, близкими к параметрам мусковита. Разное наложение слоев приводит к политипам 1 Md , 1 M (встречается наиболее часто), 2 M_1 и 3 T . Характер чередования слюдяных и разбухающих слоев точно не установлен. Для некоторых Г. характерно образование сегрегированных структур — чередование крупных блоков слюды и монтмориллонита (бейделлита). Г. образуют мелкозернистые агрегаты с размерами кристаллов от долей миллиметра до нескольких микрометров. Плотность 2,5—3,0 г/см³. Твердость не более 2. Цвет от белого у чистых образцов до темно-серого и бурого (см. Цвет минералов). Окраска вызвана гидроокислами железа и органическими веществами. Преломление обычно ниже, чем у мусковита ($n_g = n_m = 1,57—1,60$), но сильно возрастает при вхождении железа; $2V < 10^\circ$. Двупреломление около 0,03. Широко распространен в осадочных и метаморфических породах (глинистые сланцы). Г. образуется гл. обр. в процессе выветривания мусковита и гидротермальным путем. Предполагается его образование при адсорбции калия монтмориллонита из морской воды. Г. — распространенный компонент глин, особенно огнеупорных.

Применяется в керамическом и литейном произ-ве, при изготовлении керами-та.

Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Порообразующие минералы, т. 3. Пер. с англ. М., 1966; Грим Р. Е. Минералогия и практическое использование глин. Пер. с англ. М., 1967. В. С. Мельников.

ГИДРОСЛЮДЫ (от греч. ύδωρ — вода и слюды), $K_x(H_2O)_nAl_2X \times [Si_{4-x}Al_xO_{10}](OH)_2$ (где $x \leq 0,5$; $n \leq 1,5$) — минералы класса сили-

катов. Состав их промежуточный между типичными слюдами (мусковитом, флогопитом, биотитом) и минералами с подвижной кристаллической решеткой (монтмориллонитом, вермикулитом). В зарубежной литературе для обозначения Г. и глинистых минералов слюдистого типа, встречающихся в тонкодисперсном состоянии, обычно используют термин «иллит». Осн. представители Г.: гидробиотит, гидропароговит, гидромусковит и глауконит. Многообразие изоморфных замещений приводит к значительным изменениям их хим. состава. Для Г. характерно повышенное содержание воды и дефицит щелочей. В гидробиотите 2Al замещены на 3 (Mg, Fe), вместе с калием в структуру входит некоторое количество натрия, кальция и магния. В гидропароговите содержание Na_2O около 5%. Предполагается вхождение в структуру Г. иона оксония (H_3O^+), но эта точка зрения не является общепризнанной. Замещение части понов O^{2-} на OH^- также приводит к возрастанию содержания воды, но его роль в реальных структурах не выяснена. Гипотеза, объясняющая особенности состава Г., основана на представлении их структуры в виде системы переслаивающихся слоев, к-рые различаются межпакетными прокладками. Такими слоями могут быть слюдоподобные и разбухающие слои с молекулярной водой, сходные с теми, что встречаются в вермикулите и бейделлите. Подобный тип структуры наз. смешанослоистым. В глауконите степень замещения кремния на алюминий составляет от 0,5 до 0,2, а октаэдрический алюминий в значительной степени замещен двух- и трехвалентным железом и магнием. Уменьшение содержания калия сопровождается возрастанием содержания кальция и воды. Структура Г. слоистая, подобная структурам мусковита и биотита. Осн. структурными полиэдрами являются тетраэдры, в центре к-рых располагаются четырехвалентный кремний и трехвалентный алюминий, и октаэдры, содержащие двух- и трехвалентное железо, алюминий и магний. Октаэдрические пустоты заполняются полностью двухвалентными катио-

нами (магнием и железом), что характерно для гидробиотита, или только на $2/3$ трехвалентными катионами (алюминием и железом), что отвечает гидромусковиту. Подобные типы структур наз. соответственно триоктаэдрическим и диоктаэдрическим. Слои налагаются друг на друга по-разному. Упорядоченное наложение осуществляют несколькими способами, что обуславливает существование политипных модификаций, различающихся симметрией и числом слоев в элементарной ячейке. Наиболее стойки моноклинные ($1M$, $2M_1$ и $2M_2$) и тригональный ($3T$) политипы. Для Г. весьма характерно неупорядоченное наложение слоев (политип $1Md$). Диоктаэдрические разновидности Г., как правило, тонкодисперсного строения с размером частиц около 0,1—3 мкм. Под электронным микроскопом наблюдаются правильной формы чешуйки с резкими границами и равномерной толщиной. Иногда они имеют форму гексагональных или сильно удлинённых табличек. Гидробиотиты образуют более крупные выделения достигающие нескольких десятков сантиметров. Спайность Г. по (001) выражена отчетливо (см. *Спайность минералов*), однако макроскопически проявляется только у гидробиотита. Плотность Г. 2,5—3 г/см³. Твердость не превышает 2. Г. диоктаэдрического типа имеют цвета светлых оттенков (белый, серый, желтоватый) (см. *Цвет минералов*). У гидробиотитов цвет от светло- до темно-коричневого. В шлифах Г. прозрачны. Окрашенные разновидности обнаруживают *плеохроизм*. Оптические св-ва сильно зависят от степени гидратации. С возрастанием содержания воды $n_g \approx n_m$ снижается с 1,62 до 1,56. Вхождение в структуру Г. железа, марганца и титана резко увеличивает показатели преломления. Угол $2V$ не превышает 10—12°. Особенностью дегидратации Г. является потеря мол. воды в интервале t -р 20—350° С. У диоктаэдрических Г. t -ра удаления гидроксидов более низкая (550—600° С) по сравнению с мусковитом. Большая часть молекул воды содержится между пакетами, определяя в

значительной мере емкость катионного обмена. У диоктаэдрических разновидностей емкость порядка 10—40 мг-экв/100 г. У гидробиотитов она выше (70—100 мг-экв/100 г). Г. широко распространены в осадочных породах, коре выветривания и низкотемпературных гидротермальных образованиях. Их образование в осадках связано с выветриванием силикатов и с преобразованием первичных слоистых силикатов. Допускается возможность образования Г. в результате *адсорбции* монтмориллонитом калия из морской воды. Гидробиотит образуется в процессе формирования коры выветривания основных и ультраосновных пород. Г. — основные минералы почв, образующиеся при выветривании и преобразовании минералов материнских пород. Данные по синтезу Г. крайне мало. Гидромусквит может образовываться при синтезе мусковита и как продукт искусственного изменения *нефелина*, ортоклаза и лейцита. Выщелачивание калия из тонкоизмельченного биотита в растворах солей натрия и магния приводит к образованию вермикулита и гидробиотита. Г. — важный компонент керамических глин. Некоторые из них используют в литейном произ-ве. Высокие адсорбционные и ионообменные св-ва обуславливают применение глауконита и гидробиотита для очистки и смягчения воды. Перспективно их применение в качестве удобрений.

Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Грим Р. Е. Минералогия глин. Пер. с англ. М., 1959; Дир У. А., Хауи С. Р. А., Зусман А. Дж. Породообразующие минералы, т. 3—4. Пер. с англ. М., 1966; Брагг У., Кларингбулл Г. Кристаллическая структура минералов. Пер. с англ. М., 1967; Грим Р. Е. Минералогия и практическое использование глин. Пер. с англ. М., 1967. В. С. Мельников.

ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА материалов — обработка материалов водяным паром, перегретой водой или водными растворами веществ. Осуществляется при т-ре более 100°С и давлении выше атмосферного. Применяется для изменения физ. и эксплуатационных св-в уже используемых материалов, а также для синтеза новых. В про-

цессе обработки компоненты реагирующих веществ переносятся гидротермальными растворами в виде комплексов, в к-рых с центральным ядром обычно связаны гидроксильные группы и галоиды. Происходящие при этом физико-хим. процессы зависят от т-ры, давления, водородного показателя, окислительно-восстановительного потенциала среды и активности компонентов (зависящей от диссоциативных, окислительно-восстановительных и диэлектр. св-в воды). Вблизи критической точки воды (374,15°С и 225,65 ат) вследствие резкого падения ее диэлектр. постоянной степень диссоциации сильных в обычных условиях электролитов резко понижается, и они содержатся в гидротермальном растворе преимущественно в виде ионных ассоциатов, что способствует образованию комплексов. В результате этих процессов в гидротермальных растворах повышается *растворимость* практически нерастворимых в воде материалов (напр., окислов кремния, алюминия) и резко ускоряется (в 10^6 — 10^{10} раз) взаимодействие между компонентами. Это и обусловило незаменимость Г. о. при получении низкотемпературных модификаций материала, претерпевающих полиморфные превращения (см. *Полиморфизм*) с повышением т-ры. Г. о. проводят в различных герметичных сосудах, напр. в автоклавах, где давление создается изнутри термическим расширением и испарением воды, или в экзоклавах, где давление создают извне термической или мех. компрессией. Верхние значения т-ры и давления обуславливаются *прочностью и коррозионной стойкостью* материала сосуда, для подавляющего большинства процессов обработки эти показатели не превышают соответственно 500°С и 1500 кгс/см².

В зависимости от назначения и параметров процесса различают автоклавы вертикальные, горизонтальные, вращающиеся, качающиеся, колонные и др. Объем автоклавов — от нескольких кубических сантиметров до десятков кубических метров. Если необходимо, их снабжают внутренними, наружными или переносными нагревателями, мех., электромагнитными или пневматическими перемешивающими устройствами, контроль-

на-измерительными приборами для измерения и регулирования т-ры, давления, уровня жидкости и т. д. В зависимости от св-в растворов корпус автоклавов, изготавливаемый обычно из высокопрочных нержавеющей сталей, футеруют тефлоном, фарфором, серебром, золотом, платиной и др. коррозионностойкими материалами. Из таких материалов нередко изготавливают герметичные контейнеры, также используемые в процессе обработки. Гидротермальное выращивание монокристаллов в зависимости от соотношения шихты, затравки и направления температурного перепада осуществляют методом прямого температурного перепада (шихта ниже затравки, т-ра шихты больше т-ры затравки); методом обратного температурного перепада, или диффузионным (шихта выше затравки, т-ра шихты больше т-ры затравки); методом метастабильной фазы, или изотермическим (т-ра шихты равна т-ре затравки); процесс идет в результате *перекристаллизации* метастабильной фазы, обусловленной ее повышенной растворимостью); методом разделенной шихты (компоненты шихты пространственно разделены; этим методом синтезируют соединения, растворимость компонентов к-рых сильно различается); методом кристаллизации (в горизонтальном автоклаве, позволяющем легко регулировать направление температурного перепада). Гидротермальное выращивание *поликристаллов* сводится к растворению исходных компонентов, их взаимодействию в растворе, спонтанному образованию зародышей и массовой кристаллизации новообразований. Почти все технические материалы являются поликристаллами и синтезируются методами спонтанной кристаллизации. Гидротермальной обработкой получают чистые элементы (серебро, медь, золото, платину, сурьму, теллур, селен и др.), окислы (бериллия, магния, цинка, алюминия, свинца, титана, циркония и др.), *титанаты*, *цирконаты*, *вольфраматы*, *молибдаты*, *силикаты*, *танталаты*, *карбонаты*, *сульфиды* и *селениды*, *турмалины* и др. С помощью такой обработки синтезированы полу-

проводниковые соединения типа $A_2^V B_3^{VI}$ и полупроводниковые сегнетопьезоэлектрические материалы типа $A^V B^V C^V D^V E^V$ (А — сурьма и висмут; В — сера, селен и теллур; С — хлор, бром, йод), что стало возможным при строгом контроле параметров процесса, в частности водородного показателя и окислительно-восстановительного потенциала среды. К важнейшим поликристаллам, полученным с помощью Г. о., относятся *цеолиты*, синтетические *слюды*, а также серпентиновые и амфиболовые *асбесты*, различные *бетоны* автоклавного твердения.

В нек-рых случаях перспективна замена высокотемпературного спекания *керамических материалов* их гидротермальной обработкой.

Лит.: Циклис Д. С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях. М., 1976; Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества. М., 1973; Рафальский Р. П. Гидротермальные равновесия и процессы минералообразования. М., 1973; Калинин Д. В. Механизм и кинетика гидротермальных реакций силикатообразования. Новосибирск, 1973; Сергеевский П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М., 1975; Вильке К. Т. Методы выращивания кристаллов. Пер. с нем. М., 1968. Н. А. Овраменко.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ БЕТОН — бетон для возведения сооружений или их частей, постоянно находящихся в воде либо периодически контактирующих с нею. Различают Г. б. тяжелый (см. *Тяжелый бетон*) и легкий (см. *Легкий бетон*). Тяжелый Г. б. впервые был применен римлянами в 2 в. до н. э. при строительстве мола в порту Каликула, легкий Г. б. — в СССР при возведении (50-е гг.) гидротехнических сооружений Севано-Разданского каскада ГЭС (Армения). Г. б. подразделяют на подводный бетон, используемый в частях сооружений, находящихся ниже зоны перем. уровня воды; бетон зоны перем. уровня воды, в к-рой он периодически омывается водой и высыхает, а в холодное время, кроме того, замерзает и оттаивает; надводный бетон, используемый в частях сооружений, находящихся выше зоны перем. уровня

воды. К подводному относится и бетон для возведения подземных сооружений (или их частей) в зоне воздействия грунтовых вод. Различают также Г. б. напорных и безнапорных сооружений (в зависимости от действующего на них напора воды); массивный и немассивный (в зависимости от массивности сооружений); наружной и внутренней зон (по расположению в массивных сооружениях); сборный и монолитный (по технологическому признаку). Осн. требования к св-вам Г. б.: достаточные *водостойкость* (см. также *Водопоглощение*), *водонепроницаемость* (см. *Водопроницаемость*), *морозостойкость*, умеренное выделение тепла при твердении (табл.), ограниченные *усадка* и *набухание* (см. *Набухаемость*), требуемая мех. *прочность*, регламентируемая предельная относительная деформация, стойкость против хим. агрессивного воздействия воды. Дополнительные требования: достаточное сопротивление истиранию (см. *Истираемость*) донными наносами в водном потоке, стойкость против удара и истирания взвешенными наносами во время приборя, *кавитационная стойкость*, стойкость против обрастания водорослями (альгидность), стойкость к воздействию продуктов жизнедеятельности микроорганизмов (бактерицидность), огра-

ниченность капиллярная *пористость*. По водонепроницаемости (выдерживаемому давлению воды) Г. б. подразделяют на марки В2, В4, В6, В8 и В12, по морозостойкости (количеству циклов попеременного замораживания и оттаивания) — на марки Мрз50, Мрз100, Мрз150, Мрз200, Мрз300, Мрз400 и Мрз500. Усадка после 28 дней должна составлять не более 0,30 мм/м, после 180 дней — не более 0,70 мм/м, набухание в те же сроки — не более 0,10 и 0,30 мм/м. По величине предела прочности на сжатие различают Г. б. марок 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400 и 500, по величине предела прочности на осевое растяжение — марок 11; 15; 18; 20; 23; 27; 31 и 35. Для произ-ва подводного бетона, бетона подземных сооружений и бетона внутренней зоны используют преим. *шлакопортландцемент* и *пуццолановый портландцемент*, в т. ч. с добавкой золы-уноса ТЭС; для приготовления бетона зоны перем. уровня воды — портландцемент с умеренным выделением тепла при твердении, *сульфатостойкий портландцемент*, пластифицированный и гидрофобный *портландцементы*; для произ-ва подводного бетона — пластифицированный и гидрофобный *портландцементы*. В массивных Г. б. используют цемент с ограниченным выделением тепла при твердении: не более 50 кал/г через три дня и 60 кал/г через семь дней после укладки. В качестве мел-

Требования к свойствам гидротехнического бетона

Свойство бетона	Немассивная кон- струкция			Массивная конструкция					
				Внутренняя зона			Внешняя зона		
	Зона эксплуатации бетона								
	подводная	переменного уровня воды	надводная	подводная	переменного уровня воды	надводная	подводная	переменного уровня воды	надводная
Водостойкость	+	+	+	+	+	—	+	+	+
Водонепроницае- мость	+	+	+	+	+	—	+	+	+
Морозостойкость	—	+	+	—	—	—	—	+	+
Выделение тепла при твердении	—	—	—	+	+	+	+	+	+

Примечание: Знак + означает, что требование предъявляется.

кого заполнителя для Г. б. используются зерна твердых и плотных каменных пород; в качестве крупного заполнителя — гравий, щебень из горных пород или гравия, смесь гравия и щебня (фракций 5—10; 10—20; 20—40; 40—80 и 80—120 мм). Горная порода для тяжелого бетона должна быть плотной и прочной, для легкого бетона — пористой. Крупным заполнителем для легкого бетона служат также топливные или металлургические шлаки, лом керамических материалов. Если необходимо, в бетонную смесь вводят тонкомолотые и дисперсные минеральные добавки, ускорители твердения и поверхностно-активные вещества (пластифицирующие, воздухововлекающие), улучшающие технологические и технические св-ва материала. Воду используют, как правило, обычную, питьевую. Состав Г. б. определяют с помощью расчетов и экспериментов (проб), учитывая характеристики составляющих бетон материалов, а иногда и параметры технологического процесса, выражаемые математическими зависимостями (моделями). Качество Г. б. контролируют испытанием образцов материала при бетонировании, а в уже возведенных сооружениях — склерометрическим (основанным на измерении твердости), импульсным ультразвуковым или радиометрическим методом (иногда сочетая их). Прибегают также к испытанию прочности бетона по выбуревным кернам или по усилию вырыва его кусков из тела сооружения. Для приготовления бетонной смеси используют оборудование, обеспечивающее точное дозирование ее компонентов, и бетоносмесители принудительного действия. Массивные монолитные и сборные сооружения возводят, укладывая бетонную смесь в опалубку непрерывными слоями одинаковой толщины (при уплотнении ручными вибраторами толщиной 30—50 см, тяжелыми вибраторами — 50—70 см), в одном направлении. Для укладки смеси в массивные сооружения и разравнивания ее применяют бульдозеры. Сборные конструкции небольших размеров изготавливают в металличе-

ских разборных формах, используя стендовую или агрегатную технологию с уплотнением бетонной смеси на виброплощадках либо навесными вибраторами. Бетонная смесь может твердеть в естественных условиях, при контактом электропрогреве или тепловлажностной обработке. Для Г. б. обязателен влажностный (напр., поливом водой) и безвлажностный (с нанесением на поверхность пленкообразующих материалов) уход. В особых случаях для повышения водостойкости, водонепроницаемости и морозостойкости поверхностный слой бетона сооружений пропитывают битумом или спец. растворами, покрывают различными эмульсиями, экранирующими материалами (напр., полиэтиленом) и т. п. Подводное бетонирование осуществляют непосредственной укладкой смеси под воду или раздельным способом. По первому способу готовую бетонную смесь подают к месту укладки в мешках, бадьях или кубелях либо по вертикально перемещаемой и вибрируемой трубе. По второму способу крупный заполнитель и раствор (смесь цемента с песком) подают под воду разновременно. Формирование бетона по этому способу происходит уже под водой при погружении заполнителя в вибрируемый раствор или при инъектировании раствора в предварительно подготовленную каменную наброску. Г. б. применяют при строительстве плотин, водоводов, дорог, доков, градирен, бассейнов и др. Общие требования к Г. б. изложены в ГОСТе 4795—68, технические требования к материалам для приготовления Г. б. — в ГОСТе 4797—69.

Лит.: Стольников В. В. Исследования по гидротехническому бетону. М.—Л., 1962; Дмитриевский В. И. Подводное бетонирование. М., 1972; Пахомов В. А., Гончаров В. В. Бетон и железобетон в гидротехническом строительстве. К., 1974.

В. В. Гончаров.

ГИДРОФИЛЬНОСТЬ (от греч. ὕδωρ — вода и φίλος — люблю) — интенсивное взаимодействие веществ или образуемых ими тел с водой; частный случай *лиофильности*. Гидрофильными наз. вещества, растворимые в воде, и тела, хорошо смачи-

ваемые ею или набухающие в ней (см. *Смачивание*). Г. обусловлена способностью молекул растворимого в воде вещества, набухающего тела или смачиваемой поверхности прочно связывать молекулы воды. Мерой Г. служит энергия связи между молекулами воды и вещества, к-рую определяют по теплоте *гидратации* при растворении, набухании или смачивании. Г. часто оценивают с помощью капли воды, нанесенной на гладкую поверхность твердого тела. На гидрофильной поверхности капля растекается полностью, образуя тонкий слой (жидкую пленку), или впитывается. Если твердое тело гидрофобно (см. *Гидрофобность*), капля не растекается, сохраняя форму тела вращения — линзы или сплюсненного шара. Кристаллические твердые тела с высокой *поверхностной энергией* обычно гидрофильны (исключения составляют металлы, лишённые окисной пленки). Хорошо выражена Г. минералов с ионной кристаллической решеткой, напр. *карбонатов* и *алюмосиликатов* (группа породообразующих минералов). Понятие Г. применимо не только к веществам, телам и их поверхностям, но и к отдельным частям молекул. Так, в молекулах поверхностно-активных веществ, различных соединений искусственного и природного происхождения различают гидрофильные (полярные) и гидрофобные (углеводородные) группы. В результате *адсорбции* или хим. воздействия поверхность твердого тела может существенно изменить свою гидрофильность. Повышение Г. (или, что то же, понижение гидрофобности) наз. *гидрофилизацией*, а используемые при этом вещества — *гидрофиллизаторами*. Гидрофизация волокон и тканей в текстильной технологии обеспечивает высококачественное крашение, отбеливание и стирку. Пропитывание водой, водными растворами или дисперсиями (латексами, эмульсиями, суспензиями) волокнисто-пористых и сыпучих материалов с низкой поверхностной энергией также требует их гидрофизации. Наиболее эффективные и широко применяемые

гидрофизаторы — поверхностно-активные вещества различных типов. Лит. см. к ст. *Смачивание*.

Л. А. Шич, Е. Д. Шукин.
ГИДРОФОБНОСТЬ (от греч. φόβος — вода и φόβος — страх) — слабое взаимодействие веществ или образуемых ими тел с водой; частный случай *лиофобности*.

Гидрофобными наз. вещества (тела), не растворимые и не набухающие в воде, а также поверхности, не смачиваемые ею (см. *Смачивание*). Г. рассматривают как малую степень *гидрофильности*, поскольку между молекулами воды и любого др. вещества действуют (в большей или меньшей степени) силы притяжения. Таким образом, Г. обусловлена слабым сцеплением молекул воды и взаимодействующего с ней вещества (тела). Следовательно, к гидрофобным относятся все тела с низкой *поверхностной энергией*, т. е. со слабым межмолекулярным взаимодействием в поверхностном слое. Особенно высока Г. алифатических (жирного ряда), кремнийорганических и фторуглеродных соединений. Их обычно используют для гидрофобных покрытий в виде пленок или адсорбционных и хеомадсорбционных слоев, защищающих гидрофильные и химически реагирующие с водой материалы от нежелательного действия влаги. Обработка материалов и поверхностей тел, приводящая к повышению их Г. (или, что то же, понижению гидрофильности), наз. *гидрофобизацией*, а используемые при этом вещества — *гидрофобизаторами*. Гидрофобизация применяется для придания непроницаемости тканям и текстильным изделиям, для повышения *водостойкости* строительных материалов, при флотации полезных ископаемых, для повышения *коррозионной стойкости* металлов, улучшения св-в *гидроизоляционных материалов* и *электроизоляционных материалов* и др.

Лит. см. к ст. *Смачивание*.

Л. А. Шич, Е. Д. Шукин.
ГИДРОФОБНЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ — портландцемент, отличающийся от обычного *портландцемента* наличием гидрофобизирующих *добавок*, понижающих способность цемента смачиваться водой. Пром. произ-во Г. п. началось в СССР (1950). Помимо значительной *гидрофобности*

ти, Г. п. отличается пониженной *гигроскопичностью* и капиллярным подсосом, способностью придавать растворным и бетонным смесям повышенную подвижность и удобоукладываемость, а затвердевшим растворам и бетонам — повышенную *водостойкость*, водонепроницаемость (см. *Водонепроницаемость*) и морозостойкость. В качестве гидрофобизирующих добавок в Г. п. используют такие поверхностно-активные вещества, как асидол (смесь свободных нафтенных кислот), мылонафт (смесь в основном натриевых солей нафтенных кислот), олеиновую кислоту и окисленный петролатум (продукт окисления смеси парафинов и церезинов с остаточным маслом). Применяют также комплексные синтетические добавки: ЛЗГФ — раствор высокомолекулярных жирных кислот в минеральном масле (1 : 2); КСШ-1 или КНШ — вещество, изготавливаемое из кубового остатка произ-ва синтетических жирных кислот и масляного конденсата, получаемого при окислении жидкого парафина до высших жирных спиртов. Содержание гидрофобизирующих добавок в Г. п. (0,05—0,25% от массы цемента) строго дозируется. Эти добавки, обволакивая тончайшей (мономолекулярной) пленкой зерна цемента, препятствуют проникновению к ним влаги воздуха. Во время перемешивания цемента с водой и *заполнителями* (песком, гравием или щебнем) пленка легко сдвигается с зерен, и Г. п. нормально схватывается и твердеет, прочность его не снижается. Маркировка Г. п. соответствует маркировке обычного портландцемента. Г. п. чаще всего используют, если цемент

необходимо долго хранить или перевозить на большое расстояние. Его применяют в дорожном, аэродромном и гидротехническом строительстве, для облицовки и штукатурки зданий (он предотвращает образования выцветов). Г. п. с комплексными синтетическими добавками, отличающийся умеренной воздухоовлекающей способностью, используют в произ-ве сборного *железобетона*. При изготовлении такого Г. п. пылеобразование не повышается. Дополнительные затраты на 1 т Г. п. не превышают 30—40 коп.

Лит.: Хигерович М. И., Горчаков Г. И., Лейбович Х. М. Гидрофобный цемент и гидрофобно-пластифицирующие добавки в бетонах и растворах. М., 1953; Хигерович М. И. Гидрофобный цемент и гидрофобно-пластифицирующие добавки. М., 1957; Навинский Ю. Д., Хоменко В. П., Заичонковский Б. Ф. Эффективные строительные материалы. К., 1974.

Ю. С. Малинин.

ГИПЕРКО [от греч. *ύπερ* ... — приставка со значением превосходства и *κο(βαλът)*] — магнитно-мягкий сплав на основе системы железо—кобальт. В СССР используют сплав Г-27 марки 27КХ (табл.), содержащий 26,5—28,0% Со, 0,5% Сг, остальное — железо и примеси. Сплав отличается высокой индукцией магн. насыщения (до 24 кгс) и высокой т-рой перехода в ферромагнитное состояние (до 950° С). Полуфабрикаты из него изготавливают в виде поковок, холоднокатаных лент и листов. При высокой т-ре сплав пластичен. Ковку и горячую прокатку осуществляют в интервале т-р 1180—

Свойства гиперко

Марка сплава	$D, \frac{г}{см^3}$	$t_{пл}, ^\circ C$	$\frac{\rho, \frac{г}{см^3}}{м}$	$\alpha \cdot 10^6, град^{-1}$		HRC	HRB	$\sigma_B, \frac{кгс}{мм^2}$		$\delta, \%$	
				при температу- ре 20—100° С	при температу- ре 20—800° С			после холодной прокатки	после отжига	после холодной прокатки	после отжига
27КХ	7,98	1480	0,2	10,75	13,90	40	90	100	60	2	20

960° С. Сплав легко поддается обработке на металлорежущих станках. Для получения высоких магн. св-в после мех. обработки изделия из Г. подвергают окончательной термической обработке, отжигая их в вакууме с остаточным давлением не более 10^{-3} мм рт. ст. при т-ре 850° С. После отжига изделия охлаждают в вакууме со скоростью 50—100 град/ч; замедленное охлаждение в окислительной среде ухудшает пластические св-ва сплава. Г. применяют для изготовления роторов и статоров электр. машин и генераторов, а также магнитопроводов, эксплуатируемых при комнатной и высоких т-рах в средних и сильных магн. полях. Химический состав и свойства гипера определены нормативным документом — ГОСТом 10160—75.

Лит.: Пшеченкова Г. В., Скоков А. Д. Исследование магнитных свойств и твердости железокобальтовых сплавов. «Физика металлов и материалов», 1966, т. 24, в. 3; Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Shull D. S. Improved magnetic properties of high-purity iron-cobalt alloys containing 27—43% cobalt. «Journal of applied physics», 1961, v. 32, № 3. Г. В. Пшеченкова.

ГИПС (от греч. γῆψ — мел, известь), $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — минерал класса *сульфатов*. Разности: *алебастр* — тонкозернистые массивные агрегаты (алебастром наз. также продукт дегидратации гипса); *селенит* — полупрозрачный волокнистый гипс с шелковистым блеском; *пойкилитовый*, или *репестекский гипс* — песчанистая разность, содержащая множество захваченных песчинок; *гипсовы ерозы* — друзы округлых лестничковидных кристаллов. Кроме того, существуют названия: *намертво обожженный гипс* — модификация $\beta\text{-Ca}[\text{SO}_4]$ (*ангидрит*), образующаяся нагреванием обычного Г. при т-ре 400—750° С и уже трудно соединяющаяся с водой; *строительный гипс*, или *эстрих гипс* — смесь ангидрита с высокотемпературной модификацией $\gamma\text{-Ca}[\text{SO}_4]$, образующейся при т-ре 750—1400° С. Хим. состав (%): CaO — 32,57; SO_3 — 46,50; H_2O — 20,93. Мех. примеси — глинистое и органическое вещество, песчинки,

сульфиды, окислы и гидроокислы железа. Структура слоистая, симгония моноклинная, вид симметрии призматический. Г. встречается в виде сплошных тонкозернистых масс, параллельноволокнистых агрегатов, конкреций, а также хорошо выраженных кристаллов. Кристаллы обычно таблитчатого облика с наиболее развитым пинакоидом {010} в комбинации с призмами {110} и {111}. Часты также столбчатые и игольчатые кристаллы, удлиненные вдоль [001] или [010]. В глинистых образованиях развиты листовидные кристаллы, образованные искривленными плоскостями призм {111}, {111}, {110} при отсутствии пинакоида {010}. Очень часто встречаются двойники Г., наз. по внешней форме «ласточкиным хвостом» или «наконечником стрелы». Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (010), ясная по (100) и $\bar{1}11$. Спайные выколки имеют ромбоидные очертания (угол 114°). Плотность 2,32 г/см³. *Твердость* 1,2—2,0, зависит от направления в кристалле. Цвет (см. *Цвет минералов*) белый, при наличии примесей имеет серую, розовую, медово-желтую, красную, бурую и черную окраску. Черта белая. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный, на плоскости спайности перламутровый. Излом (см. *Излом минералов*) раковистый по (100). Прозрачный до просвечивающего. Двухосный, положительный; $2V = 58^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,530$; $n_m = 1,523$; $n_p = 1,520$; $n_g - n_p = 0,010$. Угол $2V$ быстро уменьшается с повышением т-ры и при т-ре 91° С равен нулю. Дегидратация Г. происходит постепенно: сначала он переходит в полугидрат — $2\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (природный аналог наз. бассанитом), затем в $\alpha\text{-Ca}[\text{SO}_4]$ — растворимый ангидрит или обезвоженный полугидрат, а при т-ре выше 400° С образуется $\beta\text{-Ca}[\text{SO}_4]$ — обыкновенный ангидрит. Г. хорошо растворяется в соляной к-те и слабо — в воде. Максимальная *растворимость* — при т-ре 37—38° С. Г. — типичный морской хим. осадок, образующийся на первых стадиях испарения морской воды, сразу после осаждения карбонатов. Позже осаждается ангидрит.

Хим. осадочный Г. образует большие по мощности и простираению пласты, перемежающиеся с пластами ангидрита, известняками, мергелями и глинами. Крупные массы Г. возникают также при гидратации ангидрита. Гипсовые розы возникают в районах с сухим климатом, где фильтрующиеся воды выщелачивают CaSO_4 из содержащих его пород, по капиллярам поднимаются к поверхности и там испаряются, образуя кристаллы. Г. накапливается в зоне окисления соляных и сульфидных месторождений, где образует т. н. гипсовые шляпы. Изредка встречается в гидротермальных месторождениях и в районах вулканической деятельности вблизи фумарол. Г. получают при испарении сульфатных растворов, содержащих ионы кальция, или реакцией обменного разложения. Его можно синтезировать также гидратацией ангидрита. Г. находит применение как в сыромолом, так и в обожженном состоянии. Обожженный, или штукатурный, Г. применяют для получения гипсовых слепков, лепных украшений, штукатурки, в медицине (медицинский Г.), в бумажном произ-ве. Строительный Г. используют как вяжущий материал при каменной и кирпичной кладке, для изготовления гипсобетона, газозобетона, газосиликата, кирпичей, плит для подоконников и лестниц. Сырой (природный) Г. находит применение как добавка к *портландцементу*, как материал для валяния скульптур, в произ-ве красок, эмали, глазури, при металлургической переработке окисленных никелевых руд. Жилковатые и плотные разновидности используют для различных изделий.

Лит.: Вудников П. П. Гипс, его исследование и применение. М.—Л., 1943; Дромашко С. Г. К минералогии гипсов Приднестровья. В кн.: Вопросы минералогии осадочных образований, кн. 2. Львов, 1955; Ветехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Б. К., Сребродольский В. И. Минералогія Поділля. Львів, 1969; Лазаренко Е. К. Курс минералогії. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 5. Пер. с англ. М., 1966.

А. А. Кульчицкая.

ГИПСОБЕТОН — бетон, получаемый в результате твердения смеси гипсового *вяжущего материала*, *заполнителя*, воды и иногда *добавок*.

В качестве вяжущего применяют воздушные материалы, гл. обр. *строительный гипс*. Возможно также использование высокопрочного гипса, ангидритового цемента и смешанного гипсоцементопуццоланового вяжущего. Заполнителями служат минеральные, преимущественно с пористой или шероховатой поверхностью, и органические материалы либо их смесь. Г. подразделяют на тяжелый и легкий. Разновидность легкого Г. — ячеистый. Объемная масса и прочность Г. зависят от активности и количества вяжущего, водовязущего отношения, вида и количества заполнителя и величины остаточной влажности. У ячеистого Г. объемная масса и прочность определяются, кроме того, количеством газа (воздуха), вводимого при изготовлении. У тяжелых Г., полученных на основе строительного гипса и плотных заполнителей, объемная масса в воздушно-сухом состоянии 1800—2400 кг/м³ и марки 75—125. У легких Г. на пористых заполнителях при тех же условиях объемная масса 1000—1400 кг/м³ и марки 35—100, на органических заполнителях 800—1000 кг/м³ и марки 15—35, у ячеистых — 350—800 кг/м³ и марки 5—30. Прочность Г. на минер. заполнителях снижается при полном насыщении водой на 50—60%, при увлажнении на 2—3% — на 35—45%. Прочность Г. на органических заполнителях снижается на 75—80%. Г. отличается высокой *огнестойкостью*. У Г. на минер. заполнителях *водопоглощение* 10—25%, *гигроскопичность* 0,4—0,6%, *морозостойкость* до 15 циклов. У Г. на органических заполнителях соответственно до 65%, 1,5—2% и до 5 циклов. Во влажном состоянии Г. свойственна большая ползучесть. На ангидритовом цементе и пористых заполнителях можно получить Г. марок 150, при полном насыщении водой его прочность снижается на 35—50%. Для повышения *водостойкости* Г. в качестве вяжущего применяют гипсоцементопуццолановое вяжущее, прочность которого при полном насыщении водой уменьшается на 20—35%; морозостойкость его до 20 циклов. Чтобы

улучшить физико-мех. св-ва Г. в уменьшить расход вяжущего, применяют жесткие бетонные смеси, к-рые уплотняют вибрацией или вибропрессованием. Г. готовят в циклических растрово- или бетономешалках принудительного действия. Использование скоростных мешалок непрерывного действия с применением ускорителей схватывания (твердения) гипса и конвейерного способа формования изделий сокращает продолжительность их изготовления. Ускорение процесса изготовления Г. имеет существенное значение для улучшения его физико-мех. св-в. Г. на строительном гипсе и ангидритовом цементе используют для изготовления строительных изделий и ненесущих и малонагруженных конструкций, применяемых внутри помещений при относительной влажности воздуха до 60%, Г. на гипсоцементопуццолановом вяжущем — при относительной влажности воздуха до 80%. Из Г. изготавливают также камни для наружных стен малоэтажных зданий.

Лит.: П а н ю т и н А. Г. Строительный гипс в стеновых конструкциях малоэтажных зданий. М., 1959; Вол ж е н с к и й А. В., Фер р он с к а я А. В. Гипсовые вяжущие и изделия. М., 1974. Б. Ф. Заичончковский.

ГЛАЗУРЬ (нем. Glasur, от Glas — стекло) — тонкое стекловидное покрытие на керамических изделиях. Использовалась еще в Древнем Египте, Вавилонии и Ассирии. Г. толщиной 0,15—0,3 мм наносят на поверхность изделий в виде суспензии из легкоплавкой шихты, закрепляя обжигом при высоких т-рах. Придает изделиям декоративный вид, предохраняет их от загрязнения, защищает от действия кислот и щелочей, повышает водо- и газонепроницаемость, улучшает термическую, диэлектрическую и мех. прочность. По т-ре спекания Г. подразделяют на тугоплавкие (1250—1400° С) и легкоплавкие (900—1250° С), по способу изготовления — на сырые (или полевошпатовые), наносимые на изделия в сыром виде, и фриттованные, подвергаемые фриттованию — предварительному сплавлению шихты. Различают глазурь для покрытия

фарфора (1100—1400° С), полуфарфора (1250—1280° С), фаянса (1100—1180° С), майолики (900—1050° С) и др. керамических изделий. Сырые Г. (относящиеся к тугоплавким и применяемые в основном для покрытия фарфора) содержат те же компоненты, что и шихта изделий, что значительно облегчает подбор хим. состава и обуславливает высокую прочность покрытия. При обжиге Г. расплавляется вследствие увеличенного содержания в ней полевого шпата по сравнению с шихтой изделия. Осн. сырьем сырых Г. (помимо полевого шпата или его заменителей) служат кварц, каолин, карбонаты кальция и магния и др. Состав этих Г. по молекулярной формуле изменяется от $(R_2O + RO) 0,3Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$ до $(R_2O + RO) 1,25Al_2O_3 \cdot 12SiO_2$. Фриттованные Г. (относящиеся к легкоплавким), кроме полевого шпата и кварца, содержат мел, мрамор, доломит, соду, поташ, буру, соединения бария и свинца, а иногда и стронция, олова, лития, цинка, висмута, циркония, титана и др. хим. элементов. Многие компоненты легкоплавких Г. растворяются в воде, а некоторые токсичны, из-за чего шихту Г. частично или полностью предварительно сплавляют. Полученный стекловидный сплав (фритта), трудно растворяющийся в воде, является осн. составляющей легкоплавких Г. Сырые Г. готовят измельчением шихты в шаровой мельнице периодического действия, добавляя пластичную глину для поддержания частиц во взвешенном состоянии. Тонкость помола Г. оценивают величиной остатка на сите 10 000 от/см² (0,066 мм) — не более 0,5—1% для фарфора и 1—2% для фаянса. Наносимую на изделия глазурную суспензию предварительно перемешивают, делая однородной. Для того, чтобы суспензия хорошо покрывала поверхность изделия, оно должно быть чистым и достаточно пористым. Суспензия должна растекаться ровным слоем по поверхности изделия, не отслаиваться от него при последующем охлаждении или нагреве, не образовывать местных вздутий (пузырей) или сетки трещин (цека), что достигается подбором хим. состава Г. Перед глазурованием некоторые изделия, гл. обр. тонкостенные фарфо-

ные, подвергаются предварительному (т. н. утильному) обжигу, чтобы закрепить форму черепка. Осн. способы глазуирования: погружение изделий в глазурную суспензию, поливка изделий суспензией на спец. машинах, распыление суспензии пульверизатором, нанесение ее кистью, припудривание изделий сухим глазурным порошком. После глазурования изделие обжигают при т-ре плавления Г.; образующаяся при этом глазурная пленка взаимодействует с черепком изделия, создавая промежуточный слой, плавной переходящий от спекшегося черепка к стекловидному глазурному покрову. Различают также Г. бесцветные и цветные, прозрачные и непрозрачные (глухие). Цветные Г. получают, добавляя в шихту красители, к-рые, растворяясь или равномерно распределяясь, обуславливают избирательное поглощение покрытием световых лучей. В качестве красителей применяют окислы металлов (кобальта, никеля, марганца, меди, железа и др.), образующие с кремнеземом окрашенные *силикаты*. Окраска распределением достигается созданием коллоидного раствора красящего вещества в стекле, являющемся основой покрытия. Для коллоидной окраски используют соединения селена, золота, меди, серебра и др. Белые глухие Г., наносимые на плитки, санитариные и др. изделия с окрашенным черепком, получают введением в шихту Г. окисей олова, циркония, титана и некоторых др. компонентов. В таких Г. образуется двухфазная система, где дисперсной фазой служат кристаллики введенных компонентов, а дисперсной средой — стекловидная фаза покрытия. Светорассеяние на границе раздела фаз, вызванное разницей в показателях преломления, обуславливает оптический эффект непрозрачности глазури.

Глухие Г., применяемые гл. обр. для покрытия металлических изделий, наз. *эмальями*.

Лит.: Бутт Ю. М., Дудеков Г. Н., Матвеев М. А. Общая технология силикатов. М., 1962; Глазури, их производство и применение. Рига, 1964; Штейнберг Ю. Г. Стройные глазури. Л.—М., 1967; Химическая технология керамики и огнеупоров. М., 1972.

[Д. П. Зегжда.]

ГЛАУКОНИТ (от греч. γλαυκός — зеленовато-синий), $K(Fe^{3+}, Al, Fe^{2+}, Mg)_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ — минерал класса *силикатов*. Разновидности: *селадонит* (силикат железа, алюминия и магния) и *сколит* (алюмосиликат железа и магния). Хим. состав (%): SiO_2 — 45,00—58,65; Al_2O_3 — 0,56—20,39; Fe_2O_3 — 6,42—27,90; FeO — 0,49—9,58; MgO — 1,77—6,22; CaO — 0,25—5,43; K_2O — 2,07—7,58; Na_2O — 0,01—3,34; H_2O — 5,70—13,70. Г. некоторых месторождений содержит, кроме того, литий и бор. Структура слоистая, сингония моноклиная. Встречается обычно в виде тонкодисперсных агрегатов, состоящих из различной формы индивидов — чешуйчатых, почковидных, округлых и др. Спайность (см. *Спайность минералов*) обнаруживается редко по (001). Плотность 2,2—2,9 г/см³. Твердость 2—3. Цвет (см. *Цвет минералов*) — зеленый с различными оттенками (от зеленовато-черного и зеленовато-бурого до светло-зеленого и зеленовато-желтого). Блеск (см. *Блеск минералов*) чаще матовый, у плотных разновидностей — стеклянный. Г. — двухосный, отрицательный; $2V = 15—65^\circ$. Показатели преломления минерала: $n_g = 1,586—1,638$; $n_m = 1,582—1,630$; $n_p = 1,559—1,608$; $n_g - n_p = 0,020—0,030$. Он образуется при осадочных процессах в результате диагенетических превращений алюмосиликатного и железистого материала илов, а также при осаждении из коллоидных растворов. В коре выветривания горных пород и в почвах Г. образуется вследствие изменения основных пород гидротермальными и холодными водами. Встречается в отложениях всех систем (от докембрийских до современных осадков). Благодаря специфичной структуре и высоким катионо-обменным св-вам Г. используют в качестве минерального пигмента в лакокрасочной, полиграфической и др. отраслях промышленности; как адсорбент для очистки пром. стоков, шахтных вод, минер. масел, а также как селективный сорбент и отбеливающее вещество в неф-

тяной и пищевой пром-сти; как сорбент радиоактивных изотопов ^{137}Cs . В строительстве используется для произ-ва декоративных материалов — *силикатного бетона*, цемента, цветного шифера и огнеупорного кирпича, штукатурки, бетона повышенного водосодержания. Под наз. неопермтит применяется в качестве смягчителя жестких вод, в текстильной и др. отраслях пром-сти. Используют его также для изготовления бутылочного стекла, аптечной посуды и др. *Лит.*: Бескровный Ю. В. [и др.]. Глаукоцит месторождения Чанги и перспективы его использования. Ташкент, 1970; Грицык В. Е., Туркевич Г. И. Глаукоциты Подолья и перспективы их использования. В кн.: Проблемы изучения и использования природных богатств, водных ресурсов и охраны природы. К., 1971; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Глаукоцит в современных, нижнепалеозойских и докембрийских отложениях. М., 1971.

Г. И. Туркевич.

ГЛАУКОФАН (от греч. $\gamma\lambda\alpha\upsilon\kappa\omicron\varsigma$ — зеленовато-синий и $\phi\alpha\iota\nu\omicron$ — показываю), $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{OH})_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}]$ — минерал класса *силикатов*, группы *амфиболов*. Относится к алюминий- и магнийсодержащему члену изоморфной серии глаукофан — кроссит — рибекит. Железистым членом этой серии является рибекит — $\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{F}_2^{3+}(\text{OH})_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}]$, промежуточным — кроссит $\text{Na}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3 \times (\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{OH})_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}]$. Хим. состав (%): SiO_2 — 53,0—59,0; Al_2O_3 — 8,5—12,0; FeO — 5,0—12,0; MgO — 7,5—13,0; Na_2O — 5,6—7,0; в виде примесей содержится TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , CaO и K_2O . Переход к кросситу и далее к рибекиту сопровождается увеличением содержания Fe_2O_3 и FeO и уменьшением количества MgO и Al_2O_3 . Структура цепочечная, сингония моноклиновая, вид симметрии призматический. Образует удлиненные призматические кристаллы. Волокнистые разности обычны для рибекита, известны для кроссита и нехарактерны для собственно Г. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенна по (110). *Плотность* 3,0—3,1 г/см³. *Твердость* 6—6,5. Цвет (см. *Цвет минералов*) голубой, синий, синева-зеленый. Блеск

(см. *Блеск минералов*) стеклянный. *Плеохроизм* ярко выражен, от темно-синего по N_p до индигово-синего или желтовато-зеленого по N_g . Оптические св-ва зависят от хим. состава и сильно изменяются при переходе от магнезиального Г. к железистому рибекиту. Г. — двухосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_g = 1,639$; $n_m = 1,638$; $n_p = 1,621$; $n_g - n_p = 0,018$. Г. (как и кроссит) — типичный метаморфический минерал умеренной т-ры и высокого давления. Для рибекита более характерен магматический генезис. Синтезируется Г. в гидротермальных условиях; стоек в интервале т-р 602—868°C и давления паров воды 2000—2500 бар. Практическое значение имеют волокнистые разности рибекита и кроссита — крокидолит и родусит. Их используют в различных отраслях пром-сти, где требуется высокая *прочность*, *кислотостойкость* и *термостойкость* волокна.

Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Соболев М. В. Минералогия волокнистых минералов группы амфиболов и серпентина. М., 1972; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 2. Пер. с англ. М., 1965.

А. Л. Литвин.

ГЛИНИСТЫЙ СЛАНЕЦ — осадочная твердая слабометаморфизованная глинистая горная порода. Отличается низкой *пористостью* (1—2% и менее), не размокает в воде, способен раскалываться на тонкие пластинки. В зависимости от состава и физико-хим. особенностей различают Г. с аспидные — обогащенные углистым веществом; кровельные (шиферные) — раскалывающиеся на плиты, пригодные для покрытий; филитоподобные — состоящие из серицита, *мусковита*, *хлорита*, *кварца* и *карбонатов*; грифельные — с двумя взаимно перпендикулярными системами трещин и др. Минер. состав Г. с.: *гидрослюда*, *хлорит*, иногда *каолинит*, реликты др. глинистых материалов — *монтмориллонита* и смешанослойных минералов, терригенных минералов — *кварца* и *полевых шпатов*, а также органическое углистое вещество и новообразование карбонатов и *сульфидов* железа. При увеличении содержания органического вещества (более 15%)

Г. с. переходят в горючие сланцы. У Г. с. отчетливая сланцеватая текстура — горизонтальная, волокнистая и косая. Структура пелитовая, алевролитовая и псаммопелитовая. Среди них по расположению глинистых минералов различают сланцеватую, ориентированную, беспорядочную, сетчатую, пятнистую и др. Цвет Г. с. чаще серый или темно-серый и зависит от минер. примесей: углистые частицы придают темно-серую и черную окраску; окись железа — красноватые тона; хлорит — зеленоватую окраску. Г. с. состоит в основном из частиц размером $< 0,01$ мм (более 50%) — это непластичная (число пластичности менее 5—7), низкопористая порода ($< 10\%$). Объемная масса 2,10—2,65 г/см³. Ср. коэфф. теплопроводности 1,3—1,8 ккал/м · ч · град, теплоемкость — 0,184 ккал/кг · град, коэфф. температуропроводности — $3,5 \cdot 10^3$ м²/ч. Г. с. встречаются среди древних осадочных пород, подвергшихся начальным стадиям метаморфизма. Получают Г. с. дегидратацией глины при высоком давлении и т-ре. Г. с. с хорошей плитчатой отдельностью могут быть использованы в качестве кровельного материала. Измельченные отбросы применяют как наполнитель кровельной мастики, дорожного асфальта, для изготовления грамофонных пластинок. Сильно вспучивающиеся разновидности — теплоизоляционный материал и звукоизоляционный материал. В зависимости от состава Г. с. применяют для произ-ва керамики, гл. обр. огнеупорных материалов. См. также Сланцы.

Лит.: Швецов М. С. Петрография осадочных пород. М.—Л., 1948; Кобранова В. Н., Лепарская Н. Д. Определение физических свойств горных пород. М., 1957; Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М., 1974.

Э. Я. Жовинский.

ГЛИНОЗЕМ — то же, что и окись алюминия.

ГЛИНОЗЕМИСТЫЙ ЦЕМЕНТ — цемент, богатый глиноземом и окисью кальция; быстротвердеющий в воде и на воздухе вяжущий материал. Впервые его произ-во началось во Франции в 1912. Г. ц. — тонкий порошок от светлого, голубовато-серого до черного цвета, его объемная масса в рыхлом состоянии 1100—1300 кг/м³, в уплотненном (вибрацией) состоя-

нии 1600—1800 кг/м³. Марки цемента, характеризующие прочность на сжатие образцов в возрасте трех суток, — 400, 500 и 600. Г. ц. отличается «пилообразным» изменением прочности во времени (сбросами прочности) и медленным ее нарастанием после трех суток твердения, что связано с перекристаллизацией двухкальциевого гидроалюмината в трехкальциевый кубический гидроалюминат и зависит от температуры и влажности окружающей среды. Обладает большой скоростью выделения тепла: при его твердении за одни — трое суток выделяется в 1,5—2 раза больше тепла, чем при твердении портландцемента. Водонепроницаемость (см. Водонепроницаемость) и коррозионная стойкость Г. ц. выше, чем портландцемента. Г. ц. более стоек в растворах сульфата кальция, магнезии, хлористых соединений, слабых растворах и парах неорганических кислот, растворах сахара, молочной, яблочной и муравьиной кислот, гипосульфита натрия, в фотореактивах, сернистых газах, морской, дистиллированной, дождевой, торфяной, болотной и сточных водах, в животных и растительных маслах. Бетоны и растворы на Г. ц. достаточно морозостойки (см. Морозостойкость). Различают Г. ц. высоко- и малоизвестковистые. Высокоизвестковистые цементы содержат более 40% СаО, отличаются высокой начальной прочностью и незначительным ее нарастанием со временем. Малоизвестковистые цементы содержат менее 40% СаО, характеризуются более медленным нарастанием прочности (со временем она становится высокой), повышенной хим. стойкостью и высокой огнеупорностью. Минералогический состав Г. ц. зависит от его хим. состава и технологии получения. Наибольшее влияние на св-ва цемента оказывает монокристалл кальция. Г. ц. получают обжигом до спекания или плавления сырьевой массы, состоящей из бокситов и извести (известняка), с последующим тонким помолом образовавшегося продукта. Сырьевую массу спекают в кольцевых, камерных, туннельных или вращающихся печах и

на спекательных решетках при t -ре 1150—1250° С с использованием беззольного или малозольного топлива. Сырье (бокситы) должно содержать не более 8% SiO_2 и 10% Fe_2O_3 . Плавят сырьевую массу в доменных или электр. печах с восстановительной средой и в электр. печах или конверторах с окислительной средой при t -ре 1380—1600° С. Продукты обжига размалывают в трубных многокамерных мельницах или в др. помольных устройствах. Плавленный цемент перед помолем дважды дробят. Г. ц. выпускают без добавок или с добавками (до 1%) различных минер. веществ, улучшающих его св-ва. Г. ц. применяют при строительстве объектов, к-рые необходимо быстро ввести в эксплуатацию, напр. при срочных восстановительных работах, особенно проводимых при низких t -рах, для возведения оборонительных и военнотранспортных сооружений, а также сооружений, подвергающихся коррозионному воздействию; при этом учитывают отсутствие нарастания прочности в отдаленные сроки твердения, возможное снижение прочности (на 50—60%) в возрасте 15—20 лет. На основе Г. ц. изготовляют жаростойкие бетоны, применяемые для футеровки тепловых агрегатов (t -ра до 1200—1400° С). Запрещается пропаривать Г. ц., применять его во влажных условиях при t -ре выше 25° С. Разновидностью Г. ц. является высокоглиноземистый цемент (талюм), содержащий 70—75% Al_2O_3 и менее 2% SiO_2 . Его марки, характеризующие прочность на сжатие образцов в возрасте семи суток, — 400, 500 и 600. Получают такой цемент спеканием сырьевой массы; применяют гл. обр. для приготовления огнеупорных растворов и бетонов, стойких к действию t -ры до 1800° С. Св-ва Г. ц. регламентируются ГОСТом 969—66, св-ва высокоглиноземистого цемента — ТУ 6—03—399—73.

Лит.: Кравченко И. В. Глиноземистый цемент. М., 1961; Жаростойкие бетоны. М., 1974. И. В. Кравченко.

ГЛИНЫ — осадочные связные нецементированные породы, состоящие преимущественно из глинистых минералов. Содержат более половины час-

тип размером $< 0,01$ мм, в т. ч. не менее 25% частиц размером $< 0,001$ мм. Пластичны во влажном состоянии, а при высушивании и обжиге сохраняют приданную им форму и приобретают значительную твердость. Главные минералы Г. — глинистые минералы группы каолинита, монтмориллонита, гидрослюда и смешанослойных образований. Они слагают в основном фракцию размером $< 0,001$ мм.

Подчиненное значение имеют хлориты, минералы группы палеогорскита, сепиолита, окислы и гидроокислы алюминия, глауконит, опал и др. Обломочный материал Г. (фракция $> 0,01$ мм) представлен кварцем, полевым шпатом, слюдой и др. В зависимости от минер. состава различают Г. мономинеральные (каолинитовые, монтмориллонитовые, гидрослюдистые и др.) и полиминеральные (состоящие из смеси глинистых минералов). Каолинитовые Г. состоят преим. из каолинита и примеси гидрослюды, кварца и др. Монтмориллонитовые Г. (бентониты — сильно размокающие в воде, флоридины — разбухающие слабее и распадающиеся в воде) имеют монтмориллонитовый состав, из второстепенных минералов содержат гидрослюды, смешанослойные минералы, аллофан, опал и др. Гидрослюдистые Г. близки к каолинитовым, отличаясь значительным преобладанием гидрослюды. К ним относятся и глауконитовые глины. Полиминеральные Г. содержат два-три глинистых минерала. Главные породообразующие минералы — каолинит, монтмориллонит, гидрослюды и слюды, в меньшей степени кварц. Из других минералов характерны глауконит, хлориты, карбонаты, сульфаты, сульфиды, окислы железа и марганца и др. По составу выделяют также Г. битуминозные — темно-серые, черные, обогащенные битумами и Г. карбонатные — содержащие до 25% карбонатных минералов. Г. характеризуются различным хим. составом с высоким содержанием глинозема (15—50%) и низким содержанием щелочей (2—5%). Средний состав Г. (%): SiO_2 — 58,10; Al_2O_3 — 15,40; Fe_2O_3 — 4,02; FeO — 2,45; MgO — 2,44; CaO — 3,11; K_2O — 3,24; Na_2O — 1,30; H_2O — 5,00; TiO_2 — 0,65;

SiO_2 — 2,63; SO_3 — 0,64; P_2O_5 — 0,17; BaO — 0,05; C — 0,80. В зависимости от минер. состава Г. содержание основных окислов значительно изменяется. Макс. количество Al_2O_3 (30—45%) типично для Г. каолининовых; MgO (3—7%) — для Г. монтмориллонитовых; K_2O (3—5,6%) — для Г. гидрослюдистых и глауконитовых. Текстура Г. слоистая, ориентированная, горизонтальнослоистая, пятнистая, сгустковая, сетчатая и др. Структура Г. определяется содержанием частиц $< 0,01$ мм осн. глинистого вещества. Выделяют пелитовые, алевропелитовые и псаммопелитовые структуры. Среди них различают горизонтальную, волнистую, ориентированную, беспорядочную, пятнистую, волокнистую, микрослоистую и др. Цвет Г. зависит от минер. состава и наличия красящих окислов. Часто наблюдается неравномерная окраска — полосчатая или пятнистая. Обычно белые тона характерны для Г. каолининовых; светло-желтые, светло-серые — для Г. монтмориллонитовых; зеленые, голубовато-серые — для Г. гидрослюдистых (глауконитовых). Преим. содержание в Г. пелитовых минералов определяет способность к удержанию воды и обмену основаниями, а также *пластичность*, липкость, связывающую и адсорбционную способность (см. *Адсорбция*), *набухаемость*, малую водопроницаемость (см. *Водопроницаемость*) и др. *Плотность* Г. — 1,3—3,45 г/см³; *пористость* общая 20—50%. Различают Г. легкоплавкие (до t -ры 1350° С), тугоплавкие (1350—1580° С) и огнеупорные (более 1580° С); в зависимости от пластичности (способность сохранять форму, принятую во влажном состоянии): высокопластичные (число пластичности более 25); среднепластичные (15—25); умереннопластичные (7—15); малопластичные (менее 7) и непластичные (сухариные — белые камнеподобные, не размокающие в воде, преим. каолининового состава; тощие — содержащие значительные примеси песка и растрескивающиеся в воде и др.). Есть также жирные — высокопластичные, мягкие, жирные на ощупь и разбухающие — монтмориллонитовые, характеризующиеся способностью сильно поглощать воду, увеличиваться в объеме и стано-

виться гелеобразными. Происхождение Г. — обломочное и хемогенное. Обломочные Г. образуются в результате разрушения и переотложения коры выветривания осадочных пород. Г. хемогенного происхождения формируются в результате хим. выветривания кристаллических пород. По обстановке осадконакопления различают Г.: аллювиальные — образующиеся в речных долинах в результате отложения водой рыхлых продуктов выветривания; аутигенные — представляющие собой продукт хим. выветривания либо образования из растворов при *седиментации* и образовании пород; валунные — песчанистые ледникового происхождения с обломками и валунами; делювиальные — продукт сноса и отложения обломочного материала временными потоками; континентальные — образующиеся на континентах в результате выветривания; морские — представляющие собой продукт осаджения пелитового материала в морской среде; осадочные — образовавшиеся при осаднении пелитового материала в водоемах со слабым течением; пелагические — представляющие собой глубоководные осадки полигенного состава; пролювиальные — материал временных континентальных потоков; терригенные — образующиеся в результате привноса продуктов разрушения различных горных пород. На континентах в кислой среде преобладают каолининовые Г., образующиеся в результате выветривания кристаллических пород. В этих же условиях в теплом и влажном климате образуются *галлуазит*, аллофан и гидрослюды. В условиях сухого, полусухого, умеренного и теплого климата в щелочной и нейтральной среде образуются гидрослюды и монтмориллонит. Однако монтмориллонитовые Г. являются продуктом выветривания эффузивных пород или пород, богатых пирокластическим материалом. Г. находят применение во многих отраслях пром-сти. Для производства строительной керамики (кирпича, *черепицы* и др.) используют легкоплавкие Г., отличающиеся пестрым минер. составом и содержащие не более 15—18% глинозема и до

80% кремнезема. Для изготовления *кислотостойких материалов* применяют низкоспекающиеся тугоплавкие и огнеупорные глины. В тонкой керамике (*фарфоре, фаянсе*) используют каолиновые чистые глины. В цементной промышленности применяют глины, хим. состав к-рых определяется силикатным модулем

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 4,5-1,0 \quad (\text{содержание щелочи до 3\%}).$$

В литейном деле применяют Г. с высокой связывающей способностью. Для произ-ва *керамзита* используют легкоплавкие Г., легко вспучивающиеся (см. *Вспучиваемость*) при нагревании до температуры 1250° С. Каолиновые Г. служат *наполнителями*. Адсорбирующие Г. благодаря способности поглощать красящие смолы органического происхождения и минер. масла используются как отбеливающий материал. Широкое применение получают Г. для приготовления глинистых растворов.

Лит.: Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. М., 1957; Кобранова В. Н., Лепарская Н. Д. Определение физических свойств горных пород. М., 1957; Швецов М. С. Петрография осадочных пород. М.—Л., 1948; Глины, их минералогия, свойства и практическое значение. М., 1970; Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М., 1974.

Э. Я. Жовинский, Л. Г. Ткачук.

ГЛИНЯНЫЙ КИРПИЧ — кирпич, изготовленный из глины с добавками или без них. После обжига приобретает необходимые прочность, водостойкость и морозостойкость. Самый древний искусственный строительный материал. Различают Г. к. обыкновенный — для кладки стен и др. частей зданий и сооружений; лицевой — для наружной облицовки и спец. назначения — для кладки заводских труб, канализационных устройств и др. Сырьем для произ-ва кирпича служат поверхностные легкоплавкие глины: жирные, песчанистые и даже мергелистые. Наиболее пригодны глины ср. пластичности, содержащие значительное (40—50%) количество песка. Вредные примеси в глинах — крупные известковые включения («дутики»), колчедан, крупная галька и крупные включе-

ния происхождения. Механизированное произ-во кирпича основывается на пластическом (с использованием однородной глины ср. пластичности) или полусухом формовании глины. Перед пластическим формованием глину тщательно перемешивают и увлажняют, отформованные из глины кирпичи сушат и обжигают. Оsn. производственные агрегаты: камневый вальцы, одно- или двухвальцовый смеситель, ленточный пресс, сушилка и печь. Высококачественный кирпич получают, если естественная структура глины полностью разрушена, исходные материалы достаточно тонко измельчены, разрыхлены, тщательно перемешаны и однородно увлажнены. Более перспективно полусухое прессование, перед которым глину дробят, сушат, измельчают, просеивают, перемешивают и увлажняют. Затем сырец прессуют и обжигают. Оsn. производственные агрегаты: камневый вальцы, сушильный барабан, дезинтегратор (или бегуны), сита-бураты (или вибросита), прессы (ударные, коленно-рычажные, револьверные) и печи. Кирпич должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда с прямыми ребрами и углами, с четкими гранями и ровными лицевыми поверхностями. Различают кирпич одинарный (250 × 120 × 65 мм) и модульный (250 × 120 × 88 мм). В зависимости от пределов прочности на сжатие и изгиб Г. к. подразделяют на марки 300; 250; 150; 125; 100 и 75. *Водопоглощение* кирпича марок выше 150 — не менее 6% от массы кирпича, высушенного до пост. массы, а кирпича остальных марок — не менее 8%. По морозостойкости кирпич подразделяют на марки Мрз15, Мрз25, Мрз35 и Мрз50. Широко применяется кирпич с отверстиями или пустотами (для снижения массы и улучшения теплофизических показателей) — пустотелый глиняный кирпич (пустотелый камень), кратный и в несколько раз превосходящий по размерам обычный глиняный кирпич. Выпускают кирпич и камни пустотелые след. видов и размеров: кирпич одинарный 250 × 120 × 65 мм, кирпич утолщенный 250 × 120 × 88 мм, кирпич модульных размеров 288 × 138 × 63 мм, камень

$250 \times 120 \times 138$ мм, камень модульных размеров $288 \times 138 \times 138$ мм, камень укрупненный $250 \times 250 \times 138$ мм, камень укрупненный модульных размеров $288 \times 288 \times 138$ мм. Кирпич и камни подразделяют на класс А — кирпич с объемной массой брутто не более 1300 кг/м^3 , камни с объемной массой брутто не более 1350 кг/м^3 и класс Б — кирпич с объемной массой брутто от 1300 до 1450 кг/м^3 , камни с объемной массой брутто от 1350 до 1450 кг/м^3 , семищелевые камни с объемной массой до 1400 кг/м^3 . Кирпич в зависимости от предела прочности на сжатие и изгиб и камни в зависимости от предела прочности на сжатие подразделяют на марки 250; 200; 150; 125; 100 и 75. В зависимости от теплотехнических св-в различают кирпич и камни условно эффективные, эффективные и высокоэффективные. Условно эффективные улучшают теплотехнические св-ва ограждающих конструкций, но не уменьшают их толщину. К ним относится одинарный и утолщенный кирпич с пустотностью 13,0 и 22,0%. Эффективные позволяют уменьшать толщину ограждающих конструкций на полкирпича по сравнению с толщиной стен из полнотелого глиняного кирпича. К ним относятся камни с пустотностью 30—33%. Высокоэффективные позволяют уменьшать толщину ограждающих конструкций на один кирпич. К ним относятся камни с пустотностью 35 и 37%. Кирпич и камни подразделяют на марки Мрз50, Мрз35, Мрз25 и Мрз15. В зависимости от марки по морозостойкости кирпич и камни в насыщенном водой состоянии выдерживают без каких-либо признаков видимых повреждений соответственно не менее 15; 25; 35 и 50 циклов по-

переменного замораживания и оттаивания. Потеря прочности образцов кирпича и камней при сжатии после испытания на морозостойкость не превышает 20%. Г. к. обыкновенный и камни пустотелые пластического прессования регламентируются ГОСТами 530—71 и 6316—74.

Лит.: Ярошевский А. В. Основы рационализации технологии производства глиняного кирпича, ч. 1. М., 1949; Будников П. П. [и др.]. Технология керамики и огнеупоров. М., 1962.

С. П. Ничипоренко.

ГЛУШЕНОЕ СТЕКЛО — стекло с ограниченной прозрачностью. Рассеивает свет в видимой части спектра из-за наличия высокодисперсной кристаллической фазы или микрокапельного расслоения (ликвации): лучи света многократно преломляются в стекле и отражаются на частицах его инородной фазы. Размер частиц инородной фазы — $0,2 \div 10 \text{ мкм}$ и более, основной массы — $1 \div 5 \text{ мкм}$. Количество частиц в сильно заглушенных стеклах — до $10\,000$ в 1 мм^3 . Глушителями стекла служат: соединения фтора — *криолит*, иногда кремнефтористый натрий, реже плавленый шпат; фосфорнокислые соли (костяная мука, метафосфат натрия, кислый ортофосфат натрия, суперфосфат); сернистый цинк; двуокись олова; трехокись мышьяка (для свинцовых стекол); двуокись титана и двуокись циркония (для *эмалей*). Поскольку соединения фтора токсичны, для глушения стекла все шире применяют фосфаты или используют ликвационные процессы (табл. 1).

В зависимости от величины и количества глушащих частиц, а также разницы в показателях их преломления и преломления основного

Таблица 1. Химический состав глушеных стекол

Стекло	Содержание компонентов, %									
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	ZnO	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	F	P ₂ O ₅
Фторидное	64—73	—	3—6	4—6	2—4	2—4	10—16	2—6	4—9	—
Фосфатное	64—66	2—6	—	1—2	4—8	—	5—12	5—12	—	3—6
Ликвирующее	73	9,2	1,6	11,1	—	—	5,1	—	—	—
Ликвирующее	66—69	—	до 3	28—29	—	—	до 3	—	—	—

(матричного) стекла определяются степень глушения и виды Г. с. — опалесцирующее-полупрозрачное, опаловое и молочное (табл. 2).

Полностью заглушенное стекло (т. н. алебастровое) не пропускает света. Г. с. являются некоторые виды *светотехнического стекла, строительного стекла, посудного, декоратив-*

ного, тарного стекла, парфюмерного, медицинского стекла и химиколaborаторного стекла. Из Г. с. изготовляют оболочки ламп, осветительную арматуру, световые панели и табло, подфарники, облицовочные плитки, *марблит, смальту, мозаику, светорассеивающие стекла.* Изделия изготовляют либо целиком из Г. с. (толщиной 3—6 мм), либо нанесением его на прозрачное стекло в процессе формования (выдувания, вытягивания) в виде тонкого (0,1—0,25 мм) или утолщенного (0,25—1,1 мм) накладного слоя, если разница в коэфф. линейного расширения обоих стекол не превышает 5×10^{-7} . В накладное Г. с. вводят макс. количество глушителей для усиления светорассеяния.

Таблица 2. Свойства глушеных стекол

Стекло	Пропускание света, %		Отражение света, %	Поглощение света, %
	общее	направленное		
Опалесцирующее-полупрозрачное	55—85	Значительное	До 25	2—10
Опаловое	50—70	Малое	20—40	3—15
Молочное	20—55	Отсутствует	40—70	4—30

ного, тарного стекла, парфюмерного, медицинского стекла и химиколaborаторного стекла. Из Г. с. изготовляют оболочки ламп, осветительную арматуру, световые панели и табло, подфарники, облицовочные плитки, *марблит, смальту, мозаику, светорассеивающие стекла.* Изделия изготовляют либо целиком из Г. с. (толщиной 3—6 мм), либо нанесением его на прозрачное стекло в процессе формования (выдувания, вытягивания) в виде тонкого (0,1—0,25 мм) или утолщенного (0,25—1,1 мм) накладного слоя, если разница в коэфф. линейного расширения обоих стекол не превышает 5×10^{-7} . В накладное Г. с. вводят макс. количество глушителей для усиления светорассеяния.

Лит.: Даувальтер А. Н. Хрустальные, цветные и опаловые стекла. М., 1957; Стекло. Справочник. М., 1973.

С. И. Сильвестровиц.

ГНЕЙС (нем. Gneis) — фанерозернистая метаморфическая горная порода группы кристаллических *сланцев*. Размер зерен Г. больше 0,2—0,3 мм. Главные породообразующие минералы Г. — *полевые шпаты* (40—60%), представленные *плаггиоклазом* и калишпатом (ортоклаз или микроклин), *кварц* (20—30%) и один или несколько цветных минералов (10—30%). По наличию цветных минералов различают Г. биотитовые (рас-

тит. В виде примеси они содержат апатит, циркон, монацит, сфен, ортит, турмалин, ильменит, лейкоксен, рутил, пирит, эпидот, цоизит, бастит, серицит, хлорит, карбонат и др. минералы. Хим. состав Г. (%): SiO_2 — $50 \div 70$; Al_2O_3 — $15 \div 30$; Fe_2O_3 — $1 \div 8$; FeO — $1 \div 10$; MgO — $1,5 \div 8$; CaO — $3 \div 12$; Na_2O — $1 \div 5$; K_2O — $0,5 \div 4$. Текстура сланцеватая или полосчатая. Структура гранобластовая, лепидогранобластовая (чешуйчато-зернистая), очковая, фибробластовая (волокнистая), пойкилобластовая и др. Г. — светло- или темноокрашенная порода. По физ.-мех. свойствам Г. в свежем виде не уступает *гранитам*, однако сопротивление на излом параллельно сланцеватости у него в 1,5—2 раза меньше, чем в перпендикулярном направлении. Плотность Г. — 2,4—2,9 г/см³; объемная масса 2,40—2,82 г/см³; пористость до 2,24%; водопоглощение до 0,7%; предел прочности на сжатие (кгс/см²): воздушно-сухих образцов — 480—3936; водонасыщенных — до 3300; после цикла замораживаний предел прочности — до 3070; потери при истирании — 0,14—0,31 г/см³. По плоскостям сланцеватости Г. обычно сравнительно легко раскалывается на плиты, а при обилии слюд также легко расслаивается при замерзании и оттаивании. Для практического ис-

пользования предпобитительно слабое развитие в Г. сланцеватой или полосчатой текстуры, чечевицеобразное расположение слюдяных полос и грубая пластовая отдельность. По происхождению различают парагенейсы, образовавшиеся в процессе глубокого регионального метаморфизма осадочных пород, и ортогенейсы, возникшие в аналогичных условиях при *перекристаллизации* интрузивных и вулканических пород кислого и среднего состава. Полосчатость Г. различного происхождения. В одних случаях она является отражением первичной слоистости осадочных пород, представлявших собой до перекристаллизации чередование песчанистых, глинистых, мергелистых и др. слоев. В других случаях полосчатость возникает при интенсивном одностороннем давлении в областях динамометаморфизма или при послойном внедрении в Г. изверженного материала (инъекционные Г.). В тектонически ослабленных зонах, характеризующихся широким проявлением процессов дробления и милонитизации, Г. обычно преобразованы в темно-серые очковые породы типа милонитов и катаклазитов. Формирование Г. происходило в условиях высоких t -р и давлений, иногда с частичным переплавлением исходных продуктов и образованием переходных к гранитам пород типа гранито-гнейсов или *мигматитов*. Г. распространены очень широко, особенно в древнейших участках земной коры, сложенных породами докембрийского возраста. Они образуют крупные поля развития и очень часто ассоциируются с мигматитами или переслаиваются с др. метаморфическими породами: *кварцитами*, кальцифирами, кристаллическими сланцами различного состава и пр. В складчатых областях изменены Г., возникшие вследствие изменения Г. и возникшие вследствие более молодых (палеозойских и мезозойских) горных пород под влиянием интенсивного давления, развивающегося в процессе горообразования и тектонических движений. Г. используются при бутовой кладке фундаментов различных сооружений, изготовлении щебня для шоссе и дорог и балластирования железнодорожного полотна, реже — для облицовки кана-

лов, набережных и пр., а также (в виде плит) для мощения дорог и тротуаров.

Лит.: Кузнецов Е. А. Петрография магматических и метаморфических пород. М., 1956; Дыбков В. Ф. [и др.]. Курс месторождений неметаллических полезных ископаемых. М., 1969.

Г. Л. Кравченко.

ГОЛЬМИЙ [Holmium; от лат. Holmia — Гольмия (назв. Стокгольма)], Но—хим. элемент III группы *периодической системы элементов*; ат. н. 67, ат. м. 164,9304; относится к *редкоземельным элементам*. Металл светлого-серого цвета; дистиллированный (чистотой выше 99,5%) — с блестящей поверхностью. В соединениях проявляет степень окисления +3. Известны изотопы с массовыми числами от 160 до 169, из них стабилен изотоп с массовым числом 165. Открыт в 1879 швед. химиком П. Клеве. Содержание в земной коре $1,3 \times 10^{-7}\%$. Пром. минералами для получения Г. служат монацит, ксенотим и эвксенит. Г. полиморфен, t -ра полиморфного превращения 1430°C . Кристаллическая решетка низкотемпературной модификации Г. — гексагональная плотноупакованная типа магния, с периодами $a = 3,5773 \text{ \AA}$ и $c = 5,6158 \text{ \AA}$; плотность $8,781 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 1460^\circ\text{C}$; $t_{\text{кип}} 2700^\circ\text{C}$; коэфф.

термического расширения $10,7 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; коэфф. *теплопроводности* $0,0254 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$; *теплоемкость* $6,50 \text{ кал/г-атом} \cdot \text{град}$; *электрическое сопротивление* $94 \text{ мком} \times \text{см}$; *Кюри точка* $19,4 \text{ K} (-253,6^\circ\text{C})$; сечение захвата тепловых нейтронов 65 барн ; работа выхода электронов $3,09 \text{ эв}$. Модуль норм. упругости 6850 кгс/мм^2 ; предел прочности $28,6 \text{ кгс/мм}^2$; $HB = 50$. Легко поддается мех. обработке. Г. — химически активен; при высоких t -х активно взаимодействует с кислородом, галогенами, серой, азотом и др. неметаллами. На воздухе окисляется. Сплавляется со мн. металлами, плавяет его в инертной среде или в вакууме. Получают Г. металлотермическим восстановлением. Окислы Г. обрабатывают до *фторидов*, затем восстанавливают кальцием и дистиллируют для получения чис-

того металла. Выпускают Г. в виде слитков. Чистый Г. используют для исследовательских целей. Перспективен в сплавах с железом, кобальтом и никелем как *магнитный материал*.

Лит.: Диогенов Г. Г. История открытия химических элементов. М., 1960; Савицкий Е. М., Терехова В. Ф. Металловедение редкоземельных металлов. М., 1975. В. Ф. Терехова.

ГОМОГЕНИЗАЦИЯ (от греч. *ὁμογενής* — однородный) — создание однородной структуры или однородного хим. состава сплавов. Осуществляется гомогенизирующим (диффузионным) *отжигом*, дающим возможность выравнивать хим. состав, неоднородный из-за *ликвации* примесей или неполного растворения *лигатур*. Основывается на *диффузии* хим. элементов в *твердом растворе*. Отжиг ведут, как правило, при высокой т-ре (от 1000 до 1200° С) и при длительных выдержках, продолжительность к-рых зависит от хим. состава и массы металла. Особенно хороших результатов добиваются после отжига готового проката или поковок, в к-рых ликвационные участки вытянуты вдоль направления деформирования и тем самым укорочены пути диффузии. Гомогенизирующий отжиг неизбежно приводит к значительному росту зерна. В слитках этот недостаток устраняют обработкой давлением. Фасонные отливки после Г. подвергают полному отжигу или *нормализации*, чтобы измельчить зерно и улучшить св-ва металла. См. также *Гомогенная структура*.

Лит.: Кащенко Г. А. Основы металлостроения. М.—Л., 1959; Гуляев А. П. Металловедение. М., 1966; Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов. М., 1977; Гудремон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966.

Ц. С. Ландо.

ГОМОГЕННАЯ СТРУКТУРА — структура однородного материала, одинаковые элементы которой распределены в среднем равномерно. В материале с Г. с. каждая единица объема содержит в среднем одинаковое количество структурных элементов. Различают гомогенность структуры макроскопическую, если элементы ее можно определить не-

вооруженным глазом или с помощью лупы, и микроскопическую, наблюдаемую с помощью микроскопа. Определить однородность распределения элементов в структуре можно, если объем образца материала, структуру которого исследуют, достаточно велик по сравнению с размерами элементов, формирующих структуру. Возможны ситуации, когда макроскопическая Г. с. на микроскопическом уровне может оказаться гетерогенной (см. *Гетерогенная структура*). Г. с. на микроскопическом уровне может быть, напр., структура однородного *твердого раствора*. Элементами структуры в этом случае считаются атомы хим. элементов, из которых состоит твердый раствор. Материалы с Г. с. находят широкое применение в технике. Они отличаются однородностью свойств, что часто достигается спец. *термической обработкой*. См. также *Гомогенизация*.

Лит.: Штейнберг С. С. Металловедение. Свердловск, 1961; Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. 1. М., 1961; Келли А., Никлсон Р. Дисперсионное твердение. Пер. с англ. М., 1966.

В. В. Кокорин.

ГРАВИЙ (франц. *gravier*) — 1) В геологии — рыхлая осадочная порода, образовавшаяся в результате естественного разрушения (выветривания) плотных горных пород. Составит из окатанных обломков, иногда с включениями различных минералов, размером в поперечнике 1—10 мм. Промежутки между гравийными обломками, как правило, заполнены мелкообломочным материалом. В зависимости от преобладающих размеров обломков различают Г. мелкий (1—2,5 мм), средний (2,5—5 мм) и крупный (5—10 мм). По происхождению (что оказывает влияние на состав и форму зерен) Г. подразделяют на речной, озерный, морской и ледниковый. 2) В строительстве — материал в виде окатанных кусков камня природного или искусственного происхождения. По крупности зерен материала природного происхождения различают Г. фракций 5—10; 10—20; 20—40 и 40—70 мм. Допускается применение Г. в виде смеси двух смежных фракций, содержание в Г. небольшого количества (до 5%) более мелких и более крупных зерен. В Г. должно быть

не более 15% зерен пластинчатой и игольчатой формы (их толщина и ширина меньше длины более чем в три раза), количество глинистых и пылевидных частиц не должно превышать 1%; содержание зерен слабых пород — 10%. Мех. прочность Г. определяется: дробимостью при сжатии (раздавливании) в стальном цилиндре, учитываемой при приготовлении бетона; истираемостью в полочном барабане, принимаемой во внимание в дорожном строительстве; сопротивлением удару на копрах ПМ, учитываемом при насыпке балластного слоя железнодорожного пути. В зависимости от дробимости Г. подразделяют на марки ДР8, ДР12, и ДР16, в зависимости от истираемости — на марки И20, И30, И45 и И55 (цифра во всех марках указывает максимально допустимый процент потери массы материала после испытания). По сопротивлению удару различают марки У-40, У-50 и У-75 (цифра характеризует наименьшее сопротивление удару). Практическая ценность Г. во многом обуславливается (помимо его мех. прочности) морозостойкостью, в зависимости от к-рой различают марки Мрз15, Мрз25, Мрз30, Мрз100, Мрз150, Мрз200 и Мрз300 (цифра — количество циклов попеременного замораживания и оттаивания, выдерживаемых материалом). Природный Г. содержится гл. обр. в песчано-гравийной смеси, к-рую добывают с помощью экскаваторов, бульдозеров, землесосных снарядов, плавучих грейферных и дражных снарядов, а затем транспортируют автосамосвалами, по пульповодам, железнодорожным транспортом или конвейерами на обогащенные фабрики для обогащения (осн. операции — грохочение и промывка). Из искусственных материалов чаще всего используют керамзитовый Г., получаемый из легкоплавкой глинистой массы (см. *Керамзит*), и зольный Г., получаемый из топливных отходов (золы и золошлаковой смеси) тепловых электростанций (см. *Зольный гравий*). По технико-экономическим показателям зольный Г. не уступает керамзитовому. Г. природного происхождения применяют в качестве крупного *заполнителя* для армированного и неармированного

бетона, для приготовления гравийно-щебеночной смеси, используемой при сооружении железнодорожного пути, в строительстве автомобильных дорог и др. Керамзитовый и зольный Г. служат в основном заполнителями для *легких бетонов*. Общие требования к Г. природного происхождения приведены в ГОСТе 8268—62, к керамзитовому Г. — в ГОСТе 9759—71. Лит.: Воробьев В. А., Комар А. Г. Строительные материалы. М., 1973; Иванов И. А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. М., 1974; Нациевский Ю. Д., Хоменко В. П., Заичонковский Б. Ф. Эффективные строительные материалы. К., 1974. Р. Н. Резников.

ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

(от лат. *gravis* — тяжелый), в е с о в о й а н а л и з — анализ хим. состава материала, основанный на измерении массы определяемого вещества или его соединения взвешиванием; метод *количественного анализа*. При Г. а., в отличие от др. методов количественного хим. анализа, взвешивание является не только начальным, но и заключительным этапом определения. Г. а. начали широко использовать во мн. европейских странах в 18 в. Основан он на законе сохранения массы веществ при хим. превращениях и на законе постоянства состава хим. соединений. Измерительным прибором при проведении анализа служат аналитические весы, позволяющие взвешивать с точностью до 0,0001 г (в микрометодах Г. а. взвешивание проводят с точностью до 0,000005—0,000001 г). В Г. а. различают методы выделения, осаждения и отгонки. Начинают Г. а. со взвешивания определенного количества исследуемого вещества на аналитических весах (если объекты жидкие, вместо взвешивания иногда измеряют объем анализируемой пробы, относя результаты анализа к единице объема исходного материала) и перевода его в раствор (в методах отгонки к растворению навески иногда не прибегают). Далее в методах выделения и осаждения осуществляют полное выделение из анализируемого раствора определяемого компонента в свободном состоянии и определяют его массу взвешиванием. Разновид-

ность метода выделения — *электрогравиметрический анализ*, при котором определяемые элементы выделяют из раствора электролизом и затем взвешивают. Таким образом можно определять медь, кадмий, серебро, никель, кобальт и некоторые др. металлы. В методах осаждения — наиболее распространенном варианте Г. а. — проводят полное осаждение определяемого компонента из раствора в виде малорастворимого хим. соединения (осаждаемого соединения), отделяют осадок от маточного раствора и переводят, высушивая или прокаливая, в устойчивое соединение точно известного состава — весовую форму. Заключительная операция — взвешивание весовой формы. Результаты анализа обычно выражают в процентах:

$$X = \frac{aF}{b} 100,$$

где X — искомое содержание определяемого компонента, %; a — масса весовой формы, г; b — масса навески, г; F — фактор пересчета, равный отношению атомной массы элемента (или ее кратного значения) к молекулярной массе весовой формы (в методах выделения $F = 1$). Наиболее ответственная операция методов осаждения — превращение определяемого вещества в осаждаемое [соединение. Осадки обычно представляют собой *сульфиды, фосфаты, карбонаты* или гидроксиды металлов, а также внутрикомплексные соединения металлов с органическими реагентами — купферомом, оксихинолином, диметилглиоксимом и др. Осадки должны быть практически нерастворимыми — в растворе после осаждения должно оставаться не более 0,1 мг определяемого элемента (количество, не превышающее чувствительность аналитических весов). Для уменьшения растворимости осадков в раствор вводят избыток осаждающего реагента, регулируют pH раствора, применяют промывание органическими растворителями и др. Кроме того, осадок должен быть практически чистым, т. е. не содержать примесей посторонних веществ, не удаляющихся при переводе его

в весовую форму. Форма осадка должна быть удобной для отделения от раствора фильтрованием. Для получения таких осадков с крупными кристаллами осаждение ведут при нагревании; перед фильтрованием осадок некоторое время выдерживают в маточном растворе. При выборе условий проведения Г. а. учитывают значения произведений растворимости (произведений активностей) малорастворимых соединений, образуемых реагентом не только с определяемым компонентом, но и с другими ионами, содержащимися в анализируемом растворе. Существует также возможность соосаждения — захвата осадком из раствора веществ, обладающих хорошей растворимостью. Для уменьшения или практического устранения соосаждения применяют маскирующие вещества, определенный порядок сливания растворов, регулируют скорость осаждения, температуру и концентрацию веществ в растворе. Методы отгонки основаны на полной отгонке определяемого компонента в виде летучего соединения. Далее анализ проводят по одному из двух вариантов — прямому или косвенному. Прямой вариант предусматривает поглощение образовавшегося летучего соединения подходящим поглотителем (предварительно взвешенным). По увеличению массы этого поглотителя находят массу летучего соединения определяемого компонента. Косвенный вариант основан на установлении массы остатка вещества после полного удаления летучего соединения определяемого компонента. Массу его вычисляют по разности масс до и после отгонки. Разновидностью косвенного варианта методов отгонки является *термогравиметрический анализ*, при котором проводится непрерывное изучение изменения массы нагреваемого материала в зависимости от температуры или времени нагрева. Г. а. обычно применяется при определении количества вещества порядка 0,02—0,1 г (от сотых долей до ~ 100%-ного содержания определяемого компонента в анализируемом образце). Отличается высокой точностью — до 0,02%, позволяет непосредственно определять (с помощью соответствующих реакций), действительно ли весовая форма является искомым веществом. Недостатки

Г. а. — длительность и сложность операций (нередко один и тот же реактив осаждает несколько различных ионов, вследствие чего их предварительно разделяют), необходимость в большом количестве анализируемого вещества. Эти недостатки частично устраняются при использовании методики *микрохимического анализа*. Г. а. применяют для определения хим. состава горных пород и минералов (силикатный анализ), сплавов, эталонирования стандартных образцов материала и т. п. См. также *Пробирный анализ*.

Лит.: Коренман И. М. Количественный микрохимический анализ. М.—Л., 1949; Алимари И. П., Петрикова М. Н. Неорганический ультрамикроскопический анализ. М., 1960; Бабко А. К., Пятницкий И. В. Количественный анализ. М., 1968; Крешков А. П. Основы аналитической химии. т. 2. М., 1970. И. В. Пятницкий.

ГРАНАТЫ (от лат. *granum* — зерно), $R_3^{2+}R_2^{3+}[\text{SiO}_4]_3$ — минералы класса *силикатов*. В общей ф-ле R^{2+} — магний, железо, кальций и марганец; R^{3+} — алюминий, железо, хром, титан, марганец, ванадий и цирконий. К крайним членам изоморфных рядов относятся такие минералы: *пироп* $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, *альмандин* $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, *спессартин* $\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, *уваровит* $\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$, *гроссуляр* $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ и *андрадит* $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$. В петрографической практике употребляют названия: *пиральспиты*, характеризующие первые три члена, и *уграндиты*, характеризующие последние три члена изоморфных рядов. Широко распространены названия: *цейлонский рубин* — ювелирный альмандин; *демантоид* — изумрудно-зеленый до серовато-зеленого с сильным алмазным блеском андрадит; *шорломит* и *мелани* и т. — титансодержащие гранаты. В природных Г. наблюдается широкий *изоморфизм* двухвалентных (магния, железа, марганца и кальция) и трехвалентных (железа, алюминия, хрома, титана, марганца, ванадия, иттрия, церия) катионов. Иногда кремний замещается алюминием, реже — титаном и цирконием, а SiO_4 замещается на гидроксильную группу (гидрогранат). Структура островная, сингония кубическая, вид сим-

метрии гексоктаэдрический. Для Г. характерны хорошо выраженные кристаллы. Наиболее распространенной простой формой является ромбодекаэдр {110}, часто наблюдаются тетрагон-триоктаэдр {211} и комбинации этих форм, реже — др. формы. Спайность (см. *Спайность минералов*) отсутствует, но иногда заметна отдельность по {110}. *Плотность* 3,51—4,18 г/см³. *Твердость* 6,5—7,5. Цвет (см. *Цвет минералов*) разнообразен. Пироп в осн. красный с фиолетовым или оранжевым оттенком. Для некоторых его разновидностей свойственен дихроизм — смена окраски при изменении освещения. В красный цвет нередко окрашены спессартин и альмандин, иногда — андрадит. Бурая окраска наблюдается у андрадита, реже — у гроссуляра. Уваровит, иногда гроссуляр и андрадит окрашены в зеленый цвет различных оттенков. Оранжевая и желтая окраска отмечаются у андрадита и гроссуляра, иногда у пироба; бесцветная у альмандина и гроссуляра; черная — у андрадита. Черта белая или светлых оттенков. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный до алмазного (у демантоида), реже — жирный или смоляной. Прозрачность изменяется в широком диапазоне — от совершенно прозрачных через полупрозрачные и просвечивающиеся в краях до непрозрачных. Оптически Г. изотропны, однако для андрадита и гроссуляра отмечается аномальная *анизотропия*. Показатель преломления от 1,73 (у гроссуляра и пироба) до 2,01 (у титансодержащих андрадитов). Между показателем преломления, периодом ячейки и составом существует сложная функциональная зависимость. Генетически Г. связаны с разнообразными комплексами изверженных, метаморфических, контактово-метасоматических и вулканических пород, иногда с гидротермальными образованиями. Наиболее широко распространенный в природе альмандин особенно характерен для регионально метаморфизованных пород, являясь в некоторых из них породообразующим минералом и индикатором ступеней метаморфизма. Андрадит и гроссуляр

типичны для высокотемпературных скарновых образований. Спессартин характерен для некоторых *пегматитов*, скарнов, гипабиссальных и вулканических пород. Пироп встречается гл. обр. в связи с кимберлитами, а также в качестве акцессорного минерала в некоторых перидотитах и змеевиках. Уваровит довольно редкий минерал и встречается в хромитовых месторождениях, связанных с *дунитами* и *норитами*. Г. сравнительно устойчивы к физико-хим. воздействию и при разрушении материнских пород попадают в рыхлые отложения, иногда образуя в них существенные скопления. Получение Г. освоено практически для всех крайних членов изоморфных рядов. С этой целью используют смеси соответствующих окислов, иногда минералов и проводят эксперименты в широком интервале т-р, давления и времени. Наиболее высокие давления необходимы для получения пироба. Г. применяют в качестве природных абразивных материалов. Прозрачные, красиво окрашенные разности используют в ювелирном деле. Пироп служит индикатором при поисках коренных алмазных источников.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Бобривич А. П. [и др.]. Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. М., 1964; Лутц Б. Г. Петрология гранулитовой фации Анабарского массива. М., 1964; Лааваренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Минералы. Справочник, т. 3, в. 1. М., 1972; Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. Пер. с англ. М., 1953. Г. И. Смирнов.

ГРАНИТ (итал. *granito*, от лат. *granum* — зерно) — магматическая полнокристаллическая глубинная порода, богатая кремнеземом. Состоит из *полевого шпата* (40—60%), *кварца* (30—35%), темноцветных минералов (до 15%) — *биотита*, *амфиболов*, реже — *пироксена*, а также *мусковита*. В зависимости от соотношения и состава породообразующих минералов, гл. обр. полевых шпатов, Г. подразделяют на разновидности. Г., сильно обогащенные калинатровым полевым шпатом (плагноклаза содержится не более 10%), наз. щелочными, щелочнополевошпатовыми, *калчевыми* и *натриевыми*

или (при более детальном определении минер. состава) — *микроклиновыми*, *ортоклазовыми* и *альбитовыми*. Гранитоидные породы с заметным преобладанием калиевого полевого шпата над кислым плагноклазом почти по всем классификациям относятся к собственно Г., или к нормальным гранитам. К ним же нередко относятся Г. с примерно одинаковым содержанием этих разновидностей полевого шпата. По др. классификациям гранитоиды с равным количеством калишпата и плагноклаза наз. *адамеллитами*, или *кварцевыми монзонитами*. При существенном преобладании плагноклаза над калишпатом гранитоидные породы относятся к *гранодиоритам*. Г., практически не содержащие калиевого полевого шпата, наз. *плагхиогранитами*; с уменьшением содержания кварца они переходят в *тоналиты* и *кварцевые диориты*. По характеру цветного минерала различают разновидности Г. биотитовые, роговообманковые, гиперстеновые (*чарнокиты*), *рибекитовые*, *арфведсонитовые*, *эгириновые* и *гранатовые*. Широко развиты двуслюдяные Г., в к-рых наряду с биотитом содержится значительное количество *мусковита*. Г., лишенные темноцветных минералов либо содержащие небольшое их количество, наз. *аляскитами*. Своеобразную группу Г. составляют *рапаквивы*, содержащие т. н. *овоиды* — *вкрапленники* калиевого полевого шпата, обросшие *каемками* олигоклаза. Кроме главных породообразующих минералов, в состав Г. в небольших количествах входят *циркон*, *сфен*, *анатит*, *магнетит*, *монацит* и некоторые др. минералы. Г. отличаются высоким содержанием кремнезема (около 70%) и низким содержанием окислов железа и магния. Соотношение щелочей изменяется в довольно широких пределах. По относительным размерам породообразующих минералов Г. подразделяют на *равномернозернистые* и *порфировидные*. В некоторых Г. отчетливо выражено *гнейсовидное* сложение. Обычная структура Г. — *гипидиоморфнозернистая*, отличающаяся резким *ксеноморфизмом* кварца по отношению к *полевоому шпату*. *Плотность* Г. — 2,62—3,04 г/см³; *объемная масса* 2,44—2,91 г/см³; *порис-*

ность 0,00—6,90 (обычно до 2%); водопоглощение 0,07—3,0%; сопротивление сжатию воздушно-сухих образцов 480—3700 кгс/см²; временное сопротивление удару (номер удара) 5—18; потери при истирании 0,01—0,48 г/см²; износ в барабане Деваля 0,2—4,0%. Г.— одна из наиболее распространенных горных пород. Очень широко представлен в составе докембрийских щитов, где занимает площади в несколько десятков тысяч квадратных километров. Для древних Г. характерна теснейшая связь с вмещающими их гнейсами, что позволяет относить эти Г. к автохтонным образованиям. Среди палеозойских и более молодых отложений Г. слагают четко обособленные массивы несомненно интрузивного происхождения. Наличие системы вертикальных и горизонтальных трещин определяет обычную для Г. параллельную отдельность. Г. образуются в результате кристаллизации перемещенного или неперемещенного магматического расплава либо вследствие гранитизации, под к-рой понимают процесс преобразования различных исходных горных пород в Г. путем метасоматического или магматического замещения. Подавляющая масса Г. древних щитов образовалась в результате анатексиса — переплавления субстрата, представленного метаморфическими породами, близкими по составу к гранитам. Полное переплавление таких пород происходит при t -ре 650—750° С в условиях избытка воды и давления водяных паров не менее 2 кбар. Широкое развитие процесса анатектического гранитообразования связано с высоким геотермическим градиентом, существовавшим на ранних этапах развития земной коры. Г. используют в виде *бутового камня*, *щебня* и частично гранитного отсева, служащих *наполнителями* бетонов, железнобетонных балластом, материалом для строительства дорог и др. Большая мех. прочность Г., обусловленная высоким содержанием кварца и хорошей связанностью его зерен, позволяет использовать гранитный щебень для *гидротехнических бетонов* и покрытий дорог первого класса. В грубо околотом или отесанном виде Г. используют в качестве *брусчатки* для изготовления бортовых (бордюр-

ных) блоков и ступеней. Г.— материал для облицовки стен и цоколей зданий и инженерных сооружений, а также для изготовления архитектурных деталей, постаментов, монументов и памятников. Широкая цветовая гамма и вариации текстурных рисунков позволяют создавать из Г. произведения высокой художественной ценности.

Лит.: Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., 1961; Кобранова В. Н. Физические свойства горных пород. М., 1962; Дыбков В. Ф. [и др.]. Курс месторождений неметаллических полезных ископаемых. М., 1969; Геологический словарь, т. 1—2. М., 1973.

В. И. Орс.

ГРАНИЦЫ ЗЕРЕН, межкристаллитные границы — тонкие переходные зоны между смежными кристаллитами, составляющими *поликристалл*. Атомы в переходных зонах находятся под действием силовых полей решеток обоих кристаллитов, и их расположение на границе является промежуточным между расположениями, свойственными каждому из этих кристаллитов, т. е. отличается от расположения в норм. решетке. Вследствие этого атомы на границе обладают избыточной энергией, к-рая в природе кристаллитов играет роль, аналогичную роли *поверхностной энергии* на внешней поверхности твердого тела. На переходе от одного кристаллита к другому отклонения атомов от узлов решетки (ее искажения) и соответствующая избыточная энергия нарастают с обеих сторон границы до максимума в ср. части переходной зоны. Ширина зоны избыточной энергии и искажений норм. решетки определяет толщину границ. Эта величина носит условный характер и зависит от методики определения. С учетом этого толщина границ обуславливается степенью разориентации решеток смежных кристаллитов и наклоном границ относительно кристаллографических осей обоих решеток. Ввиду криволинейности границ характер искажений решетки, их величина и избыточная энергия изменяются в широких пределах и сильно различаются для разных пар кристаллитов. Экспериментальные методики оценки толщины располагают преим.

косвенными данными, что обусловлено влиянием границ на св-ва поликристалла в целом, поэтому эти оценки являются усредненными по множеству пар кристаллитов и характеризуют не конкретные межкристаллитные границы, а состояние поликристалла. По различным методикам толщина Г. з. оценивается от нескольких межатомных промежутков до нескольких сотен их. Для представления о расположении атомов на границе рассматривают различные гипотетические модели ее структуры. В основе моделей лежит представление о сглаживании при переходе через границу несоответствия между расположением атомов в кристаллографических плоскостях, параллельных границе, с миним. степенью искажения решетки в этом переходе. В зоне перехода чрезмерной локализации избыточной энергии искажений не происходит. Локализация ограничивается упругими св-вами вещества. Для простейшего случая малоугловых плоских Г. з. «наклонного» типа (с разориентацией, осуществляемой поворотом вокруг оси, лежащей в одноименных кристаллографических плоскостях обоих кристаллов) структура границ может быть описана «стенкой» краевых дислокаций со взаимно параллельными осями, к-рые лежат в плоскости границы. Наиболее общая модель структуры Г. з. — модель «трехмерного нониуса», в которой переход между кристаллитами осуществляется промежуточными элементарными ячейками укрупненного размера. Такую ячейку можно представить на основе суперпозиции двух кристаллографических сеток, параллельных Г. з., где намечается муаровая сверхсетка совпадающих (или почти совпадающих) узлов обеих сеток. Выделяя в каждой из смежных решеток равновеликие параллелепипеды на основе петли сверхсетки, можно каждый атом в такой «сверхъячейке» решетки одного кристаллита сопоставить с ближе расположенным атомом в «сверхъячейке» другого кристаллита. Наметив расположения атомов, промежуточные между двумя такими парами, можно получить проме-

жуточные «сверхъячейки», осуществляющие переход от одной ориентации решетки к другой. В этом переходе относительные смещения атомов в последовательных слоях, параллельных границе, не превышают величины, ограничиваемой предельными напряжениями третьего рода. Г. з. играют важнейшую роль в формировании многих св-в поликристаллов. Свойственные им искажения кристаллической решетки снижают энергетические барьеры между соседними атомами, в связи с чем существенно облегчаются элементарные акты *диффузии* и возникает явление предпочтительной межкристаллитной диффузии при насыщении поликристалла растворимыми элементами извне (скорость диффузии при этом может превышать соответствующую величину в норм. решетке, т. е. в толще каждого кристаллита, на несколько порядков величины). Этим обусловлена, в частности, *межкристаллитная коррозия*. Свообразием структуры Г. з. обусловлено также явление межкристаллитной внутренней *адсорбции* растворенных примесей, к-рое иногда наз. «сегрегацией без выделения». Помимо изменения св-в поликристаллического тела в целом, внутренняя адсорбция может приводить в ходе последующей термообработки к локальному пересыщению границ и к распаду в них *твердого раствора*, хотя при этом ср. концентрация, рассчитываемая на всю массу поликристалла, далека от предела растворимости, и возникновения гетерофазности не наблюдается. Это явление лежит в основе «неожиданного» брака или отклонений св-в от нормы. На этой основе развивается, в частности, явление т. н. обратимой отпускной хрупкости сплавов. Зафиксированное *закалкой* адсорбционное обогащение границ некоторыми примесями (в стали — гл. обр. фосфором) обуславливает возможность участия примесей в локальном распаде твердого раствора в пограничных слоях при *отпуске* в определенном диапазоне т-р, причем возникающая гетерофазность охрупчивает границы, а тем самым и весь сплав. Отпуск при более высоких т-рах не вызывает охрупчивания, поскольку примеси не участвуют в распаде. Вызванное низким отпуск-

ном охрупченному состоянию сменяется вязким, если после такого отпуска следует второй, высокий отпуск (обратимость хрупкости). Г. з. играют большую роль и в развитии пластической деформации поликристаллов, представляя собой препятствия на пути перемещения дислокаций, осложняющие их переход из одного кристаллита в другой, смежный. С другой стороны, при высоких температурах, когда для пластического деформирования осн. значение приобретает влияние флуктуаций теплового движения, инициирующих направленные элементарные акты деформации, границы оказываются осн. участками развития мелкокомпабной пластической деформации. Облегченность элементарных актов атомных перемещений на границе обуславливает инициирующую роль их при фазовых превращениях и при твердофазных хим. реакциях. Преимущественное развитие этих процессов на границе определяет соответствующую неравномерность фазового состава в микроструктуре поликристалла и, тем самым, многие его свойства.

Лит.: Архаров В. И. О природе межкристаллитного сочленения в поликристаллических телах. «Труды Института физики металлов АН СССР», 1955, в. 16; Архаров В. И. К вопросу о моделировании структуры межкристаллитных сочленений. «Физика металлов и металлоуправление», 1961, т. 12, в. 2; Новиков И. И. Дефекты кристаллической решетки металлов. М., 1968; Мовчан В. А. Границы кристаллитов в литых металлах и сплавах. К., 1970; Архаров В. И., Константинов Т. Е. О причинах охрупчивания стали в процессе высокого отпуска. «Доклады АН СССР», 1974, т. 218, № 3; Ман Лип Д. Границы зерен в металлах. Пер. с англ. М., 1960.

В. И. Архаров.

ГРАНОДИОРИТ — глубинная полнокристаллическая изверженная горная порода, по составу занимающая промежуточное положение между гранитом и кварцевым диоритом. Главные минералы Г. — кислый плагиоклаз (альбит-олигоклаз, олигоклаз), каликатовый полевой шпат (обычно микроклин), кварц, роговая обманка и биотит. Содержание олигоклаза в 1,5—3 раза выше содержания микроклина; содержание кварца — 15—20, цветных минералов — не более 20%. Примеси: мусковит, магнетит, циркон, сфен, апатит и др. Различают Г. биотитовые, биотито-

рогообманковые и рогообманковые. По содержанию кремнезема и щелочей Г. относятся к группе кислых изверженных пород (семейству гранитоидов). Хим. состав (средний по 151 анализу; %): SiO_2 — 64,65; TiO_2 — 0,53; Al_2O_3 — 15,78; Fe_2O_3 — 1,74; FeO — 2,68; MnO — 0,13; MgO — 1,89; CaO — 3,86; Na_2O — 4,36; K_2O — 3,02; H_2O — 1,31; P_2O_5 — 0,25. Цвет Г. — светло-серый с розоватым, зеленоватым или желтоватым оттенком. Зернистость породы хорошо выражена, преобладают средне- и крупнозернистые разновидности. Структура обычно гипидиоморфнозернистая, часто порфировидная. В порфировидных выделениях наблюдается микроклин, реже — олигоклаз и цветной минерал. Текстура массивная, полосчатая или гнейсовидная. Плотность Г. — 2,64—2,77 г/см³; объемная масса 2,50—2,75 г/см³; пористость 6,4%; сопротивление сжатию воздушно-сухих образцов 729—1820 кгс/см²; износ в барабане Деваля 0,2—5,5%. Г. вместе с гранитами слагает крупные батолитоподобные массивы в докембрийских щитах и ядерные участки более молодых горных сооружений. Часто также наблюдаются небольшие штоки и жилы Г., пересекающие более древние породы. Г. по физико-мех. свойствам уступает диориту, однако наряду с гранитом в связи со значительной распространенностью относится к горным породам, наиболее широко применяемым в пром-сти строительных материалов, в особенности для произ-ва блочного и бутового камня, а также щебня.

Лит.: Лучицкий В. И. Петрография, т. 2. М. — Л., 1949; Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., 1961; Дыбков В. Ф. [и др.]. Курс месторождений неметаллических полезных ископаемых. М., 1969; Соловьев С. П. Химизм магматических горных пород и некоторые вопросы петрохимии. Л., 1970.

[В. А. Пуканов.]

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ — анализ гранулометрического состава материалов; совокупность приемов определения гранулометрического состава размерных фракций (в геологии), грунтов (в почвоведении)

и инженерной гидрогеологии), сыпучих материалов (в технике) и др. Используется с 15 в. Различают прямые и косвенные методы анализа. Прямые методы состоят в непосредственном выделении необходимых фракций, взвешивании и определении процентного содержания их в пробе. Косвенные методы (визуальный, аэрометрический и др.) основаны на изучении некоторых св-в исследуемого материала, по изменению к-рых судят о содержании тех или иных фракций. В Г. а. применяют методы *ситового анализа* и *седиментационного анализа*. Часть методов Г. а. основана на полном разделении частиц по фракциям: разделении частиц ситами, потоком воздуха, потоком воды, при оседании в спокойной жидкости и в центрифугах. Остальные методы основаны на анализе частиц без разделения по фракциям. Это — методы определения размера частиц по скорости их оседания в жидкости, по изменению св-в суспензии и по скорости взаимодействия частиц с жидкостью, напр. по скорости растворения. Выбор метода обуславливается веществом анализируемого материала и целью анализа. Нек-рые методы используют для анализа песчаных пород, другие — для изучения высокодисперсных пород (глин, лессов). Г. а. применим лишь для материалов (пород), легко распадающихся на частицы. Процессы цементации, перекристаллизации и др. делают дезинтеграцию неполной, а результаты анализа неточными. Чтобы придать геологическому материалу необходимую степень дисперсности, прибегают к дисперсному, полудисперсному или агрегатному способу его подготовки к анализу. По дисперсному способу материал приводят в состояние макс. возможного диспергирования разрушением неустойчивых и частично устойчивых агрегатов мех. и хим. обработкой. Полудисперсный способ заключается в приведении материала в состояние естественно-элементарного расчленения разрушением водонеустойчивых агрегатов мех. и физ. обработкой (материал перед анализом замачивают, кипятят и расти-

рают). Подготовку по агрегатному способу состоит в размачивании комков материала в воде. При приготовлении суспензии для анализа порошков искусственных материалов (металлов, соединений и т. п.) стремятся сохранить первоначальный размер частиц, разрушая только их мех. агломераты. Истирание, измельчение частиц, их хим. обработка и взаимодействие с дисперсионной средой не допускаются. Чаще всего с помощью Г. а. определяют фракции размером (в мм): 2,0—1,0; 1,0—0,5; 0,5—0,25; 0,25—0,10; 0,10—0,05; 0,05—0,01; 0,01—0,005; 0,005—0,001 и менее 0,001. В СССР наибольшее применение в геологии получил метод Сабанина, используемый для анализа мелкопесчаных пород (диаметр частиц менее 0,5 мм), содержащих не более 10% частиц диаметром менее 0,01 мм; его можно применять в комбинации с ситовым и пипеточным методами. Пипеточный метод рекомендуется для анализа мелкопесчаных и глинистых пород; им обычно пользуются для определения содержания фракций диаметром (в мм): 0,25—0,05; 0,05—0,01; 0,01—0,002; 0,002—0,001 и менее 0,001. Рекомендован усовершенствованный пипеточный метод (в модификации Качинского), по к-рому суспензия отбирается спец. пипеткой. Применяется также метод АзНИИ, основанный на отмучивании. Из полевых распространены метод Рутковского, к-рым определяют фракции размером (в мм): более 1; 1—0,05; 0,05—0,002 и менее 0,002, а также аэрометрический метод, основанный на измерении плотности суспензии в процессе отстаивания. Числовые данные Г. а. о содержании фракции не наглядны и трудно сопоставимы, поэтому применяют графические и математические способы сравнения полученных результатов. Простейший вид графической обработки данных Г. а. — построение гистограмм, вместо к-рых могут применяться циклограммы. Для сопоставления результатов нескольких Г. а. можно применять треугольные диаграммы или строить суммарные (кумулятивные) кривые. Построение таких кривых является предварительной ступенью перед простейшей математической обработкой данных анализа, заключающей-

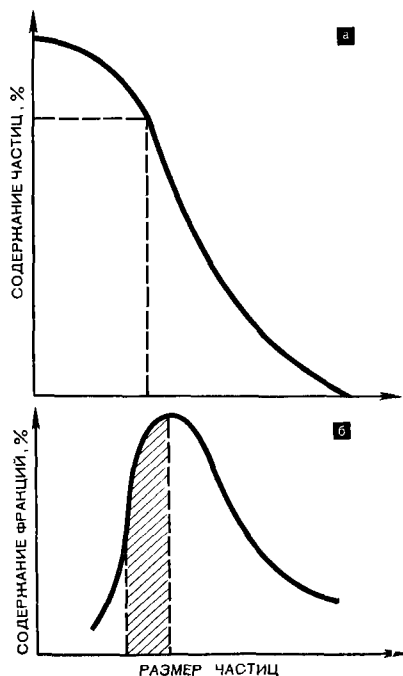
ся в вычислении некоторых коэфф. (квартилей), характеризующих распределение зерен в изучаемом образце. Вычисление таких коэфф. основано на правилах математической статистики. Особое место отводится Г. а. в порошковой металлургии, где используют порошки с размером частиц от долей микрометра до долей миллиметра. Информация о размере частиц дает возможность повышать качество продукции.

Лит.: Рухин Л. Б. Гранулометрический метод изучения песков. Л., 1947; Фигуровский Н. А. Седиментометрический анализ. М.—Л., 1948; Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. М., 1952; Рухин Л. Б. Основы литологии. Л., 1969; Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород, т. 1. М., 1968; Мильнер Г. Б. Петрография осадочных пород, т. 1. Методы исследования осадочных пород. М., 1968.

Г. Ф. Виноградов.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ (от лат. *granulum* — зернышко и греч. *μετρέω* — измеряю) — содер-

Гранулометрический состав, выраженный в виде интегральной (а) и дифференциальной (б) кривых распределения частиц по размерам.



жание в порошкообразном материале частиц различных размеров, выраженное процентным отношением массы (количества) частиц определенного размера к общей массе (количеству) частиц исследуемого образца. Собственно **г р а н у л а м и** наз. крупные частицы, размеры к-рых обычно более 0,5 мм. В зависимости от цели исследования и размеров частиц порошка Г. с. определяют различными прямыми и косвенными методами *гранулометрического анализа*. Г. с. может быть выражен в виде дискретной или непрерывной зависимости содержания частиц от их размеров. Для определения дискретной зависимости интервал размеров всех частиц анализируемого порошка подразделяют на классы (фракции) и Г. с. представляют в виде процентного содержания частиц каждой из фракций (**ф р а к ц и о н н ы й с о с т а в**). Величина фракции показывает содержание в порошке частиц в интервале размеров, ограничивающих фракцию. Графическое изображение Г. с. в виде непрерывной зависимости наз. **кривой распределения**. При построении ее по оси абсцисс откладывают размеры частиц, а по оси ординат — суммарное содержание всех частиц от начала отсчета до данной точки, получая интегральную (суммарную) кривую распределения (рис., а). Если по оси ординат откладывают относительное содержание фракций, причем разность между средними размерами частиц каждой фракции стремится к нулю, получают дифференциальную кривую распределения (рис., б). Г. с. представляют также в виде таблиц и гистограмм. При определении Г. с. строительных материалов результаты анализа иногда выражают в виде треугольника (чем ближе точка к вершине треугольника, тем больше в данном материале фракции, соответствующей этой вершине). Анализ Г. с. проводят в геологии (при определении коллекторских св-в и при расшифровке условий образования обломочных горных пород), грунтоведении (при определении технических св-в *грунтов* для строительных целей), в технике

(металлические порошки, абразивные материалы, обогащение полезных ископаемых) и др.

Лит.: Фигуровский Н. А. Седиментометрический анализ. М.—Л., 1948; Рабинович Ф. М. Кондуктометрический метод дисперсионного анализа. Л., 1970; Паничкина В. В., Уварова И. В. Методы контроля дисперсности и удельной поверхности металлических порошков. К., 1973; Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л., 1974. В. В. Паничкина.

ГРАФИТ (от греч. γραφω — пишу), С — минерал класса самородных неметаллов, одна из полиморфных модификаций углерода. Разности: графит и т — скрытокристаллический графит; ш у н г и т — промежуточная форма между аморфным углеродом и графитом. С пром. точки зрения различают явнокристаллические, скрытокристаллические Г. и графитоиды (образующие переходную группу к углю). Г. обычно содержит примеси водорода, азота, окиси и двуокиси углерода, метана, аммиака, сероводорода и воды. Структура Г. слоистая, сингония гексагональная, вид симметрии дигексагонально-дипирамидальный. Иногда гексагональная решетка нарушается, вследствие чего Г. переходит в ромбоэдрическую модификацию (дигригонально-скаленоэдрический вид симметрии), составляющую до 5% природного графита. Встречается обычно в виде мелких чешуек, пластинок, радиальных выделений и землестых агрегатов. На кристаллах Г. наиболее характерны формы {0001}, {1013}, {1012}, {1011} {1123}, {1122}, {1120}, {1121}. Хорошо образованные кристаллы встречаются очень редко, облик их обычно пластинчатый. Двойники двух типов; такие, у к-рых двойниковая плоскость по острой дипирамиде второго рода, и такие, у к-рых индивиду повернуты вокруг оси {0001} друг относительно друга на 30°. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (0001), несовершенная по призме. На ощупь жирный. Плотность 2,09—2,25 г/см³. Твердость 1—2. Цвет черный, железо-черный, стально-серый (см. *Цвет минералов*). Цвет черты черный до темно-сталь-

но-серого, черта блестящая. Блеск металлический, иногда матовый, землистый (см. *Блеск минералов*). Непрозрачный, просвечивает в чрезвычайно тонких пластинках темно-синим цветом. Сильно плеохроичен. Одноосный, отрицательный. В шлифах плеохроизм и двупреломление очень высокие. Хорошо проводит электричество. Отличается высокой термостойкостью, т-ра плавления около 3800° С. При т-ре 2000° С становится пластичным, выше т-ры 400° С начинает окисляться. Теплота горения около 7800 ккал/кг. Образуется в процессе метаморфизма каустобиолитов (углистых веществ, керогена, битумов), при ассимиляции и восстановлении углеродистых соединений гидротермальными растворами или магмой (механизм процесса не изучен), кристаллизацией (возможно, частично пневматолитовой) в магме и метеоритах. Наиболее широко распространен в метаморфических породах. Г. получают (по методу Ачесона) нагреванием углей или нефтяного кокса до т-ры 2200—2800° С. Применяют в металлургии (плавильные тигли, литейные формы), электротехнике (гальванические элементы, электроды, осветительные угли, электрощетки и др.), в ядерной технике (замедлитель нейтронов), в произ-ве смазочных материалов и др. См. также *Бронзографит*, *Графит шаровидный*, *Железографит*, *Пирографит*, *Силицированный графит*.

Лит.: Солоненко В. П. Происхождение и классификация месторождений графита. «Известия Сибирского отделения АН СССР», 1958; № 5; Требования промышленности к качеству минерального сырья, в. 3. М., 1960; Минералы. Справочник, т. 1. М., 1960; Вульчин Е. И. Продукты глубокого метаморфизма каустобиолитов у породах Украинского щита и кристаллического массива Східних Карпат за рентгенографічними даними. «Доповіді АН УРСР. Серія Б», 1968. № 12; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Химические и физические свойства углерода. Пер. с англ. М., 1969; Handbook of geochemistry, v. 2/2. Berlin, 1970.

Е. И. Вульчин.

ГРАФИТ ШАРОВИДНЫЙ, графит глобулярный — графит шаровидной формы, представляющий собой структурную составляющую металлических сплавов (преимущественно на основе железа), содержащих углерод. Образуется в процессе кристаллизации расплавов,

подвергнутых обработке модифицирующими материалами при вакуумировании, а также при их быстром охлаждении. В высокопрочных чугунах возникает при модифицировании чаще всего магний и церий. В чугунах, содержащих магний, иттрий, церий и другие РЗМ, образуется при графитизации, сопровождающейся твердофазными превращениями. Г. ш. представляет собой типичные сферокристаллы графита — поликристаллические образования, выросшие из одного центра. Каждый сферокристалл состоит из веерообразно расположенных пирамидальных кристаллитов, в которых базисная плоскость (плоскость спайности) графита перпендикулярна высоте пирамиды (рис.). Аналогично строение сферокристаллов других материалов (напр., слюда), обладающих, как и графит, резко выраженной анизотропией сил межатомной связи и слоистой кристаллической структурой. В нетравленных образцах чугуна или стали Г. ш. выявляется в виде кругов или многоугольников, отличающихся серой окраской (со светлым пятном в центре), часто с радиально-лучистым строением. Наличие двух типов сечений Г. ш. объясняется секториальной

Графит шаровидный, $\times 1000$.



структурой сферокристаллов графита (оптически анизотропной фазы) и обусловлено прохождением секущей плоскости выше или ниже структурного центра сферокристалла. Поскольку у шаровидных включений наименьшая удельная поверхность по сравнению с другими видами графита включений, чугун с Г. ш. отличается от других видов серого чугуна более высокой конструкционной прочностью.

Лит.: Справочник по изготовлению отливок из высокопрочного чугуна. М.—К., 1961; Бунин К. П., Малиновка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. М., 1969.

К. П. Бунин, Ю. Н. Таран.

ГРАФИТА ВКЛЮЧЕНИЯ — включения дисперсных частиц графита, представляющие собой структурную составляющую металлических сплавов (преим. на основе железа), содержащих углерод. Г. в. — поликристаллы, выросшие из одного центра и образующие разветвления. По хим. составу и кристаллической структуре мало отличаются от природного графита. Чаще всего образуются в сплавах с высоким содержанием углерода (чугунах). Формируются из жидкого раствора при затвердевании чугуна, из твердых растворов (аустенита и феррита) при охлаждении затвердевшего чугуна или в результате графитизации железоуглеродистых сплавов. При графитизации источником Г. в. служит углерод распадающегося нестойкого карбида железа — цементита. Рост включений в металлической основе сплава происходит вследствие диффузионного притока атомов углерода и самодиффузии атомов металла от фронта кристаллизации графита. На микрошлифе включения четко отличаются от других структурных составляющих темно-серой окраской и специфической формой. Иногда в их составе могут быть и др. компоненты, что связано с адсорбционными св-вами графита и мех. захватом микрообъемов др. фаз в процессе роста. В зависимости от условий образования Г. в. могут быть различны — от пластины до шара через промежуточные формы. В серых чугунах они пластинчатые (рис., а на с. 312), в ковких

чугунах — хлопьевидные (рис., б), в высокопрочных чугунах — шаровидные (рис., в) (см. *Графит шаровидный*). Влияние Г. в. на св-ва сплавов зависит от их формы, количества, величины и особенностей распределения в металлической основе. Шаровидная форма включений обуславливает повышение мех. св-в чугуна, в который добавляют небольшое количество магния, способствующего выделению графита в форме шара. Мелкие хлопьевидные включения повышают антифрикционные св-ва графитизированных сталей. Однако во многих сплавах (напр., в инструментальных сталях, строительных сталях, конструкционных сталях) включения графита резко снижают конструкционную прочность.

Лит.: Бунин К. П., Малиновка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. М., 1969.

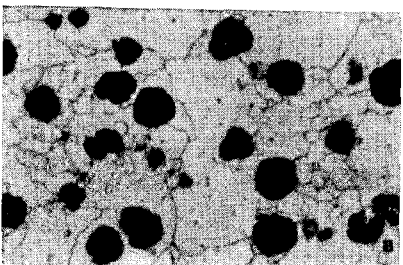
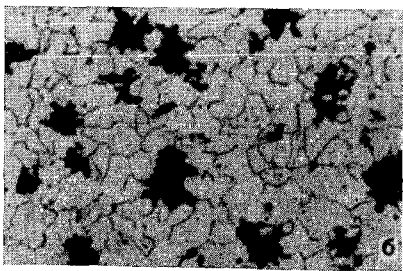
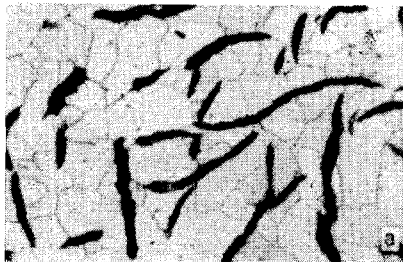
К. П. Бунин, Ю. Н. Таран.
ГРАФИТИЗАЦИЯ — образование графита в карбидсодержащих металлических сплавах (преимущественно на основе железа), карбиды которых при атмосферном давлении нестабильны. Г. происходит при повышении т-ры и заключается в формировании и росте зародышей графита в металлической основе сплава (вследствие диффузионного притока атомов углерода растворяющегося карбида и самодиффузии атомов металла от поверхности графита). Чем выше т-ра, тем больше скорость образования графита. Г. ускоряют предварительной закалкой сплавов, их деформацией, облучением частицами с высокой энергией, введением кремния, реже — алюминия, которые способствуют выделению графита. Затрудняют Г. элементы (напр., хром и марганец), увеличивающие стойкость карбидов. Г. часто используют при получении изделий из ковкого чугуна. Для этой цели исходные отливки делают из белого чугуна (где углерод содержится в карбиде железа) и подвергают длительному высокотемпературному отжигу, в результате которого карбид железа распадается, возникают графитовые включения. Графитизируют и некоторые стали (см. *Графитизированная сталь*), однако для многих из них

(напр., для инструментальной стали, конструкционной стали, строительной стали) этот процесс нежелателен, поскольку графит резко снижает конструкционную прочность изделий. Иногда под Г. понимают также образование графита в сплавах, не содержащих карбидов. В таких сплавах графит выделяется из пересыщенных углеродом растворов при затвердевании и дальнейшем охлаждении. Кроме того, Г. наз. изменение структуры материалов на основе углерода.

Лит.: Кристал М. А., Титенский Э. Г. Свойства ковкого чугуна. М., 1967; Бунин К. П., Таран Ю. Н. Строение чугуна. М., 1972. К. П. Бунин.

ГРАФИТИЗИРОВАННАЯ СТАЛЬ — сталь, в структуре к-рой часть угле-

Графита включения: а — пластинчатые, б — хлопьевидные; в — шаровидные.



года находится в виде округлых или вытянутых включений *графита*. Применяется с 30-х гг. 20 в. Г. с. (табл. 1) характеризуется высокими *износостойкостью* и *антифрикционными св-вами*, хорошо обрабатывается резанием и не склонна к *схватыванию*, отличается большой *жидкотекучестью*, близкой к жидкотекучести чугуна, меньшей *усадкой*, чем

углеродистая сталь и *легированная сталь*. Легирование Г. с. кремнием, медью, никелем и алюминием способствует ее *графитизации*. Марганец и никель повышают *прокаливаемость* стали, титан и молибден уменьшают зерно в структуре. Г. с. используется

Т а б л и ц а 1. Химический состав графитизированных сталей

Сталь	Содержание элементов, %					
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
Молибденовая	1,25—1,35	0,80—1,10	0,35—0,60	≤0,25	≤0,25	0,20—0,30
Молибденомарганцевая	1,35—1,55	0,85—1,20	0,75—1,00	≤0,25	≤0,25	0,20—0,30
Никельмолибденомарганцевая	1,45—1,60	0,90—1,30	1,00—1,40	1,65—2,00	0,40—0,60	0,40—0,60
Алюминиевая	1,45—1,60	0,15—0,30	0,20—0,40	≤0,25	≤0,25	—
ЭИ293	1,50—1,65	0,75—0,90	0,20—0,40	≤0,20	≤0,08	—
ЭИ336	1,50—1,65	0,75—0,90	0,20—0,40	≤0,20	≤0,08	—
ЭИ366	1,30—1,45	1,00—1,25	0,30—0,50	≤0,20	≤0,08	—
Для фасонного литья	0,90—1,40	0,80—1,50	0,30—0,60	—	≤0,10	—
Для тормозных барабанов	1,40—1,60	0,90—1,10	0,70—0,90	—	0,40—0,50	0,10—0,20
Для литых штампов	1,18—1,24	1,10—1,20	0,48—0,58	0,28—0,41	0,28—0,58	0,07—0,12

Продолжение табл. 1

Сталь	Содержание элементов, %				
	Cu	Ti	Al	S	P
Молибденовая	—	—	—	<0,025	<0,025
Молибденомарганцевая	—	—	—	<0,025	<0,025
Никельмолибденомарганцевая	—	—	—	<0,025	<0,025
Алюминиевая	—	—	0,10—0,20	<0,25	<0,025
ЭИ293	—	—	—	<0,030	<0,03
ЭИ336	—	0,40—0,60	—	<0,030	<0,03
ЭИ366	—	0,10—0,30	—	<0,025	<0,03
Для фасонного литья	≤0,20	—	—	<0,07	<0,07
Для тормозных барабанов	1,50—2,00	—	—	<0,06	<0,10
Для литых штампов	—	—	—	<0,032	<0,043

Т а б л и ц а 2. Микроструктура и свойства графитизированных сталей

Микроструктура стали	σ_B , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	δ_H , кгс·м/см ²	HB
Феррит + графит	36—42	20—21	14—24	19—26	2,6—40	100—110
Зернистый перлит + графит	54—49	28—34	14—17	16—25	2,0—3,0	220—230
Пластинчатый графит + перлит	83—94	49—55	3—5	5—8	0,6—1,5	220—235

в деформированном (см. *Деформируемость*) и литом состоянии. Деформируемую Г. с. куют при т-ре 800—1100° С, минимально выдерживая во время нагрева под ковку, чтобы избежать чрезмерной графитизации и обезуглероживания стали. Литую Г. с. подвергают графитизирующему отжигу при т-ре 850—950° С в течение 2—12 ч. Для ускорения графитизации отжиг проводят с предварительной закалкой в масле при т-ре 850—870° С в течение 1—2 ч. Сталь смягчают отпуском при т-ре 680—700° С в течение 5—20 ч. Структура после такой термической обработки — зернистый перлит или феррит и графит. Мех. св-ва определяются микроструктурой металла (табл. 2 на с. 313). Из закаленной Г. с. изготавливают штампы для холодного штампования, волочильный инструмент, калибры, броневые плиты угольных мельниц, траки гусениц. В отожженном состоянии графитизированную сталь используют в прои-з-ве вкладышей подшипников скольжения, поршневых колец, тормозных колодок.

Лит.: Бунин К. П., Баранов А. А., Погребной Э. Н. Графитизация стали. К., 1961; Материалы в машиностроении. Справочник, т. 3. М., 1968.

И. Г. Неижко.

ГРУНТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, грунто материалы — камнеподобные материалы, изготавливаемые из дисперсных минеральных грунтов и вяжущих материалов. Используются с 18 в. В зависимости от вида вяжущего, применяемого для стабилизации грунтов, Г. м. подразделяют в осн. на грунтобетоны и грунтосиликатные материалы. Грунтобетоны — материалы, формируемые на основе грунтов и минер. вяжущих, представляющих собой соединения кальция, — цементов, извести и гипса. Разновидность таких материалов — цементгрунты, вяжущими в к-рых служат портланд-цемент, его смеси с известью, гранулированными доменными шлаками, топливными шлаками, золами и т. п., а активизаторами твердения — добавки минер. происхождения (хлористый кальций, нитрит и нитрат кальция, натриевые и калие-

вые растворимые стекла), вводимые в небольших количествах (0,5—1,5%). К грунтобетонам относятся грунтовые системы, стабилизированные негашеной или в различной степени гидратированной известью, а также известью с добавками, в композициях с к-рыми она содержится в преобладающем количестве. В отличие от строительных бетонов и портландцемента и кондиционных заполнителях грунтобетоны при насыщении водой теряют 40—60% прочности, в связи с чем не могут быть отнесены к водостойким. Силикатированные Г. м. представляют собой грунтобетоны на основе песчаных и глинистых грунтов, получаемые попеременным их пропитыванием растворами щелочных силикатов (*жидкого стекла*) и хлористого кальция. Грунтосиликатные материалы — материалы на основе грунтов и соединений щелочных металлов. Вяжущими в них служат грунтоцементы — смеси алюмосиликатов природного или искусственного происхождения (глин, горелых пород, цемянок и т. п.) с соединениями щелочных металлов, дающими в водных растворах щелочную реакцию, — едкими щелочами, силикатными (низкомолекулярными растворимыми стеклами) и несиликатными солями слабых кислот (карбонатами, фторидами и т. п.), которые вводят в количествах, обеспечивающих связывание глинистых частиц в цеолиты типа $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot x(2-4) SiO_2 \cdot nH_2O$, а также шлакощелочные вяжущие (см. *Шлакощелочной бетон*). Продуктами гидратации грунтоцементов являются аналоги природных минер. образований щелочного алюмосиликатного состава типа гидронефелина, натролита, анальцима, мусковита и т. п. Они связывают грунты в монолитный водостойкий камень типа цеолитовых песчаников. Грунтосиликатные композиции на основе шлакощелочных вяжущих приобретают высокие физико-мех. свойства, что обусловливается значительной активностью вяжущих и возникновением в процессе гидратации щелочных растворов, взаимодействующих с глинистыми составляющими грунта. Грунтобетоны, твердеющие в естественных условиях и связанные

портландцементом марки 500 без добавок или с добавками основного шлака или золы-уноса, в зависимости от состава и количества вяжущего обладают пределом прочности на сжатие от 16 до 217 кгс/см² и выдерживают от 5 до 100 циклов стандартного испытания на морозостойкость. У грунтобетонов, связанных известью без добавок или с добавкой золы-уноса, предел прочности на сжатие от 12 до 100 кгс/см², морозостойкость от 10 до 20 циклов. Грунт, пропитанный жидким стеклом и электролитами, характеризуется пределом прочности на сжатие 100—120 кгс/см². У грунтосиликатных материалов на грунтоцементном вяжущем (в количестве 25% после 28 суток естественного твердения) предел прочности на сжатие 300—400 кгс/см². Они выдерживают от 100 до 200 циклов стандартного испытания на морозостойкость. Те же композиции после сушки при t-ре 100—300° С обладают пределом прочности на сжатие 400—500 кгс/см² и морозостойкостью от 150 до 250 циклов. У материала на шлакощелочном вяжущем (в количестве 25% после 28 суток естественного твердения) предел прочности на сжатие 200—500 кгс/см², морозостойкость 200—300 циклов. В грунтобетонах осн. компонентом, обеспечивающим в определенных условиях коренное качественное изменение природных св-в грунта, является портландцемент, к-рый придает материалу постоянную и необратимую связность и воздухоустойчивость. Добавление портландцемента приводит к самопроизвольному синтезу в массе обрабатываемого грунта полиминеральной комплексной связки, в состав к-рой входят продукты его гидратации в виде гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, гидрат извести и в определенном количестве алюмосиликатные и кремнекислые соединения. В грунтобетонах на основе известковых вяжущих используют цементирующее свойство известкового раствора: гашеная *известь*, кристаллизуясь из раствора, связывает частицы грунта; при взаимодействии с двуокисью углерода воздуха известь образует карбонат кальция СаСО₃, к-рый связывает эти частицы в водостойкий камень; реакции гид-

роокиси кальция Са (ОН)₂ с кремнекислыми соединениями, содержащимися в грунте, приводят к образованию стойких кальциевых силикатов, упрочняющих структуру материала вследствие процессов конденсационно-кристаллизационного структурообразования. Во всех грунтобетонах частицы пылеватых и глинистых фракций остаются в несвязанном состоянии, что обусловливает значительную потерю прочности этими материалами в условиях насыщения водой. В основу получения грунтосиликатных материалов положен принцип моделирования природных минер. образований щелочного и щелочно-щелочноземельного составов. Принципиальное отличие грунтосиликатных материалов от грунтобетонов на основе традиционных вяжущих заключается в том, что в условиях сильно щелочной среды глинистое вещество грунтов, в т. ч. и распределенное по поверхности пылеватых частиц, взаимодействует с едкими щелочами, вследствие этого пылеватые частицы наряду с частицами песчаных фракций связываются в водостойкие каменные материалы щелочного алюмосиликатного состава — аналоги горных пород. Осн. способы произ-ва Г. м.: приготовление смеси из местных или привозных грунтов в стационарных либо полустационарных смесительных установках с последующим транспортированием ее к месту укладки; приготовление и укладка смеси на месте строительства с использованием линейных однопроходных многоворотных грунтосмесительных машин или дорожных фрез; приготовление смеси и изготовление сборных изделий в заводских условиях. Во всех случаях максимальное уплотнение готовой смеси — обязательное условие норм. протекания процессов структурообразования. Наиболее рациональным является приготовление материалов на месте строительства, поскольку большинство из них твердеет в естественных условиях. Г. м. на основе грунтоцементных и шлакощелочных вяжущих, кроме того, способны твердеть в воде, при пропаривании и автоклавной обработке.

В связи с этим произ-во их, а также других водостойких Г. м. осуществляют как в стационарных условиях на заводах, так и на месте строительства. Г. м. на основе минер. вяжущих применяют в сельском и поселковом строительстве при устройстве фундаментов, подготовок под полы, возведении стен зданий и сооружений, для устройства токов и временных площадок для хранения зерна, облицовки силосных траншей. Их используют также при возведении плотин, в дорожном и аэродромном строительстве. Наиболее перспективными являются грунтосиликатные материалы, преимущества которых определяются высокой хим. активностью гидроокисей щелочных металлов и широким диапазоном заполнителей — грунтов, что позволяет при миним. расходах получать материалы с высокими физико-мех. св-вами. Благодаря экономичности применение Г. м. в различных областях строительства позволяет значительно уменьшить капитальные вложения. Требования к укрепленным грунтам, материалам и методики подбора приведены в СН25—64, ВСН 158—69, ТУ—67 СССР 181—74, ТУ—67 СССР 182—74, в ГОСТах 10180—67; 10060—62 и 5802—66.

Лит.: Безрук В. М. Теоретические основы укрепления грунтов цементом. М., 1956; Глуховский В. Д. Грунтосиликаты. К., 1959; Глуховский В. Д. Грунтосиликатні вироби і конструкції. К., 1967; Безрук В. М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. М., 1971.

В. Д. Глуховский, Ж. В. Скурчинская.

ГРУНТЫ (от нем. Grund — основа, почва) — любые горные породы, служащие объектом инженерно-строительной деятельности человека. Г. могут быть породами трех осн. генетических групп: магматическими, осадочными и метаморфическими. Св-ва Г. зависят от многих факторов. Для глубинных изверженных горных пород ими являются исходный состав магматического расплава, условия и скорость его кристаллизации, особенности дальнейшего преобразования пород как в эндогенной, так и в экзогенной обстановке. Для осадочных горных пород этими факторами служат источники, а также

физико-географические условия образования осадков, условия их превращения в горные породы и дальнейшего преобразования. Древние физико-географические условия, наряду с другими факторами превращения осадка в породу, оказывали определенное влияние на процессы окаменения и, следовательно, на формирование инженерно-геологических св-в осадочных горных пород, определяли в некоторых пределах изменение их состава. Св-ва метаморфических пород определяются составом исходных пород и термодинамическими условиями процессов метаморфизма. По осн. св-вам Г. подразделяют на скальные, полускальные, мягкие связные пластичные, рыхлые несвязные и мягкие рыхлые особого состава и состояния. Существуют и другие классификации. Скальные Г. — породы твердые, компактные, неводопроницаемые сами по себе, но проницаемые по трещинам, невлагоемкие, практически несжимаемые, высокой мех. прочности, в воде нерастворимые или слабо растворимые. К этой группе относятся массивно-кристаллические изверженные и метаморфические, а также плотно сцементированные осадочные породы. Полускальные Г. — сцементированные осадочные породы, слабо сжимаемые, довольно прочные, слабоводопроницаемые сами по себе, но проницаемые по трещинам; растворимость их в воде разная — от незначительной до очень большой (напр., у каменной соли). К ним относятся также трещиноватые, выветрелые, закарстованные и т. п. скальные породы; растворимые в воде осадочные породы — гипс, анемидит, каменная соль; вулканические туфы; обломочные породы со слабым цементом; опоки, кремнистые глины, глинистые известняки, ракушечные известняки, известняковые туфы, каменный уголь, горючие сланцы, сцементированные льдом рыхлые отложения. Мягкие связные пластичные Г. — породы слабо проницаемые или практически водоупорные, влагоемкие, сжимаемые под давлением и при высыхании; прочность и крепость зависят от степени увлажнения. Это — глины, суглинки, различные лессы. Рыхлые несвязные Г. несжимаемы, за исключением слабо уплотненных

знакостей; невлагоемки, водопроницаемы. К ним относятся несцементированные крупнообломочные и песчаные отложения — валуны, *галечники*, *гравий*, *пески*, вулканический пепел. К мягким рыхлым Г. особого состава и состояния относятся современные почвы, торф, соленосные породы, плавунные пески, илы, искусственно созданные грунты. Установлено множество признаков и св-в Г., к-рые определяют их поведение во взаимодействии с сооружением: условия залегания, текстура, структура и структурные связи; минеральный, гранулометрический и химический состав; наличие и характер воды и газов; масса, влажность, скважность, *пористость*, трещиноватость, тепловые и мех. св-ва; консистенция, коллоидные св-ва, *пластичность* и др. Для улучшения св-в Г. (чаще всего повышения сопротивляемости сжимающим и сдвигающим усилиям, увеличения *водостойкости*, уменьшения *водопроницаемости*, для обезвожи-

вания) прибегают к цементации, силикатизации, глинизации, битумизации, замораживанию и др. Г. являются естественным основанием, средой и строительным материалом для промышленных, транспортных, сельскохозяйственных, жилых и др. сооружений. Кроме того, их широко используют при таких видах хозяйственного освоения территорий, как осушение, орошение и т. д. См. также *Грунтовые материалы*.

Лит.: Коломенский Н. В. Инженерная геология, ч. 1—2. М., 1951—56; Приклонский В. А. Грунтоведение, ч. 1—2. М., 1952—55; Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений. Общая часть. М., 1955; Рухин Л. Б. Основы литологии. Л., 1969; Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л., 1970; Веклич М. Ф. О палеогеографических основах инженерной геологии. В кн.: Палеогеография и инженерная геология юга Украины. К., 1974.

М. Ф. Веклич.

Д

ДВОЙНИКОВАЯ СТРУКТУРА (лат. *structura* — построение) — структура материала с двойниками — областями кристаллической решетки, закономерно переориентированными относительно исходной (матричной) решетки. Закономерность переориентации состоит в том, что решетка двойника совмещается с исходной кристаллической решеткой либо поворотом вокруг двойниковой оси, либо отражением в двойниковой плоскости, либо той и другой операцией, а следовательно, и инверсией в двойниковом центре. В кристаллографии для описания Д. с. используют четыре осн. характеристики, наз. элементами двойникования: плоскость двойникования, направление двойникования, вторую осн. плоскость (второе круговое сечение) и ось осн. зоны (линию пересечения второй осн. плоскости и плоскости сдвига) (рис. на с. 318).

При более подробном описании называют также плоскость сдвига и кристаллографический сдвиг (табл. на с. 318).

Двойники, у к-рых плоскость двойникования совпадает с плоскостью кристаллической решетки и характеризуется индексами, представляющими собой целые и малые числа, а ось осн. зоны отвечает направлению в решетке, также определяемому целыми и малыми индексами (т. е. плоскость двойникования и ось осн. зоны рациональны), наз. двойниками первого рода. Двойники, у к-рых вторая осн. плоскость параллельна плоскости, определяемой целыми и малыми индексами, а направление двойникования параллельно рациональному направлению в решетке, наз. двойниками второго рода. В кристаллах высокой симметрии (кубических и нек-рых гексагональных) двойники не разделяются, поскольку все их

элементы часто рациональны. В кристаллографии и минералогии иногда применяют другую классификацию Д. с. — по симметрии атомных решеток матрицы и сдвоенной области. Если геометрическая операция совмещения их кристаллических решеток сводится к зеркальному отражению в нек-рой плоскости (плоско-

ределенной кристаллографической оси, то такие двойники наз. двойниками вращения, или осевыми (аксиальными). В реальных кристаллах Д. с. образуется в процессе роста (двойники роста), в результате мех. воздействия (механические двойники), при рекристаллизации деформированных кристаллов (двойники рекристаллизации и *отжига*), а также при переходе из одной полиморфной модификации в другую (см. *Поли-*

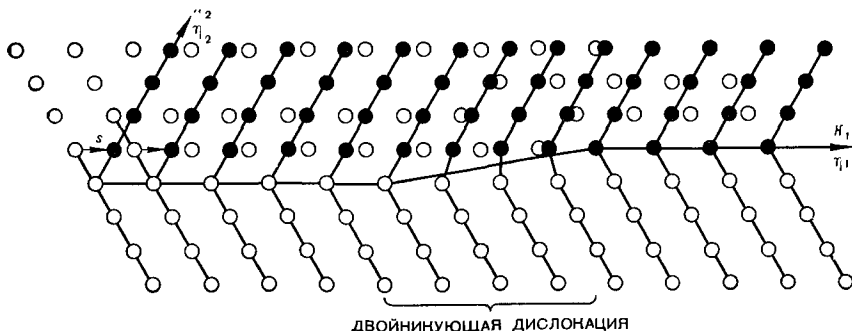
Характеристики двойниковой структуры металлов

Металл	Кристаллическая решетка	Индекс двойникового				Кристаллографический сдвиг
		K_1	η_1	K_2	η_2	
Медь	Гранецентрированная кубическая	(111)	$[11\bar{2}]$	($1\bar{1}\bar{1}$)	$[112]$	0,707
Альфа-железо	Объемноцентрированная кубическая	(112)	$[11\bar{1}]$	($1\bar{1}\bar{2}$)	$[11\bar{1}]$	0,707
Цинк	Гексагональная плотноупакованная, $c/a = 1,856$	($10\bar{1}2$)	$[101\bar{1}]$	($10\bar{1}\bar{1}$)	$[10\bar{1}\bar{1}]$	0,139
Кадмий	Гексагональная плотноупакованная, $c/a = 1,866$	($10\bar{1}2$)	$[101\bar{1}]$	($10\bar{1}\bar{1}$)	$[10\bar{1}\bar{1}]$	0,171
Бета-олово	Тетрагональная, $c/a = 0,541$	(301)	$[\bar{1}03]$	($\bar{1}01$)	$[\bar{1}01]$	0,119
Висмут	Ромбоэдрическая	(110)	$[001]$	(001)	$[110]$	0,113

сти двойникового), то такие двойники наз. двойниками отражения. Если совмещение происходит в результате поворота на нек-рый угол вокруг оп-

Элемент двойниковой структуры кристалла (граница раздела двойник — исходная, или матричная решетка с двойнивающей дислокацией): K_1 — плоскость двойникового; K_2 — вторая основная плоскость; η_1 — направление двойникового; η_2 — линия пересечения второй основной плоскости и плоскости кристаллографического сдвига; s — кристаллографический сдвиг (плоскость сдвига совпадает с плоскостью рисунка).

морфизм). В общем случае образование Д. с. происходит в две стадии: образование зародышей (первая стадия) и их рост до размеров макроскопического двойника (вторая стадия). Исключение составляет лишь срастание при случайном соприкосновении за время роста малых готовых кристаллов. Обычно же при росте кристаллов двойники образуются в результате параллельного наложения молекул на зародышевый двойник, возникший из двух или несколь-



двойнивающая дислокация

их симметрии сплоснулись молекул. Кроме того, двойники образуются при отложении на готовом большом кристалле молекул в двойниковом положении. При отжиге деформированного материала и при мех. воздействии зародышами двойников являются дефекты упаковки, образующиеся соответственно при миграции *границ зерен* и при дислокационных реакциях. Рост зародышей до размеров макроскопического двойника происходит вследствие движения частичных двойнивающих *дислокаций* (см. рис.). При механическом двойниковании такой рост возможен только в условиях высоких локальных концентраций сдвиговых напряжений. Д. с. и условия ее образования представляют интерес в связи с получением высококачественных кристаллов пьезокварца, исследованием природы низкотемпературной пластической деформации и разрушения сплавов на основе металлов с объемноцентрированной кубической решеткой, изучением бездиффузионных превращений мартенситного типа, диагностикой кристаллов (минералов), изучением горных пород, содержащих эти минералы, и т. п. См. также *Дефекты в кристаллах*.

Лит.: К л а с с е н - Н е к л ю д о в М. В. Механическое двойникование кристаллов. М., 1960; *Hall E. O.* Twinning and diffusionless transformations in metals. London, 1954; *Deformation twinning*. New York — London, 1964.

В. Ф. Моисеев.

ДВУОКИСЬ КРЕМНЯ, к р е м - н е з е м, SiO_2 — окисел *кремния*, стабильный в твердом состоянии. По хим. природе Д. к. — кислотный окисел, реагирующий при высокой т-ре со многими окислами металлов, образуя *силикаты*. Самый распространенный окисел в земной коре и мантии (около 60%). Встречается в связанном (силикаты) и в свободном (кварц) состоянии. Модификации двуокиси: кварц, тридимит, кристобалит, китит, коусит и стишовит. Наиболее распространен кварц, отличающийся тригональной симметрией. Его *плотность* $2,65 \text{ г/см}^3$, *средний температурный коэфф. линейного расширения* $12,3 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. При комнатной т-ре кварц служит изолятором, он бесцветен, обладает винтовыми элементами структуры, обуславливающими существование

двух оптически активных форм. В структуре кварца установлено наличие небольших количеств примесей (в горных хрусталях — преимущественно воды), которые, возможно, стабилизируют ее (см. также *Кварц*). При нагревании до т-ры 573°C (норм. давление) кварц обратимо переходит в гексагональную форму с меньшей плотностью ($2,52 \text{ г/см}^3$). При т-ре 870°C высокотемпературный кварц иногда превращается в тридимит (плотность низкотемпературной ромбической формы $2,31 \text{ г/см}^3$), а при т-ре 1470°C тридимит превращается в кристобалит. Однако обычно кварц сохраняется до т-ры $1000\text{—}1100^\circ \text{C}$, после чего необратимо переходит в альфа-кристобалит (плотность $2,22 \text{ г/см}^3$, симметрия кубическая), увеличиваясь в объеме на 13,5%. Во время охлаждения альфа-кристобалит при т-ре 218°C обратимо превращается в тетрагональный бета-кристобалит (плотность $2,34 \text{ г/см}^3$). В гидротермальных условиях ($p = 0,4\text{—}1,3 \text{ кбар}$, $t = 380\text{—}580^\circ \text{C}$) при наличии щелочей получена еще одна тетрагональная форма — китит (плотность $2,50 \text{ г/см}^3$) которая с повышением т-ры переходит в кристобалит (или кварц). Высокие давления позволили получить более плотную ($2,9 \text{ г/см}^3$) форму — коусит. С дальнейшим повышением давления образуется стишовит (плотность $4,28 \text{ г/см}^3$). При длительном тонком измельчении, а также облучении нейтронами кварц и другие формы двуокиси переходят в аморфное состояние. Важное петрологическое и техническое значение имеют процессы переноса двуокиси в растворах и газовой фазе, особенно в парах воды (напр., при эксплуатации паровых турбин). Для получения различных форм Д. к. применяют гидротермальный синтез, высокое давление и нагревание «сухих» веществ, в т. ч. и при норм. давлении, а также газотранспортные процессы. Кварц в виде *монокристаллов* применяется в пьезотехнике, для изготовления светофильтров; в виде *поликристаллов* — в пром-сти строительных материалов (см. *Силикатный бетон*, *Силикатный кирпич*), в стекольном произ-ве

(см. *Кварцевое стекло*). Кварциты, переходящие при нагревании в тридимит и кристобалит, используют при изготовлении динасовых *огнеупорных материалов*. Из стекла на основе Д. к. изготавливают хим. посу-

ду, его используют в оптических приборах.

Лит.: Бережной А. С. Кремний и его бинарные системы. К., 1958; Лазарев А. Н. Колебательные спектры и строение силикатов. Л., 1968; Бережной А. С. Кремнезем и его модификации. «Геологический журнал», 1970, № 2; Прянишников В. П. Система кремнезема. Л., 1971.

А. С. Бережной.

Характеристики декоративных покрытий

Материал		Способ нанесения покрытия	Внешний вид покрытия
основы	покрытия (толщина, мкм)		
Сталь	Медь — 18; 36 Никель — 15; 18 Хром — 0,5	Гальванический	Блестящее
»	Медь — 36 Сплав олова с никелем — 15	»	«Мороз»
»	Никель — 18 Медь — 3 Никель — 3	»	Матовое
»	Сложная смесь окислов, карбидов и нитридов — 2—10	Гальванический, химический или термический; оксидирование (воронение)	»
Медь и ее сплавы	Золото — до 1 Золото — 20	Гальванический »	Блестящее »
То же	Серебро — до 1 Серебро — 20	»	Блестящее или матовое
»	Никель — 18 Хром — 1	»	Блестящее, зеркальное или матовое
»	Никель — 15	»	Блестящее
»	Никель — 1	»	Матовое
»	Сложная смесь окислов, карбонатов и гидрокарбонатов — 100—150	Гальванический или химический; оксидирование	От блестящего до матового
Алюминий и его сплавы	Медь — 6 Никель — 18	Гальванический	Блестящее зеркальное или матовое
Магний и его сплавы	Хром — 1		
То же	Медь — 1—3 Никель — 1	»	Матовое
»	Сложная смесь окислов — 0,05—35	Гальванический (анодирование)	Блестящее матовое или радужное (при толщине до 0,05 мкм)

ДЕЙТЕРИДЫ — соединения элементов с дейтерием D (тяжелым водородом ^2H). По характеру образующихся соединений, фаз переменного состава и образуемых гомогенных и гетерогенных равновесий аналогичны *гидридам*. Однако из-за более значительного, чем у др. элементов, изотопного эффекта у водорода

св-ва D. и гидридов заметно различаются. Так, т-ра плавления обычной и тяжелой воды составляет соответственно 0 и $3,813^\circ\text{C}$, т-ра кипения 100 и $101,431^\circ\text{C}$. Теплота образования D. металлов часто несколько ниже, а давление диссоциации всегда выше соответствующих величин гидридов. Различие в хим. св-вах D. и гидридов особенно заметно в изменении скорости протекания хим. реакций (кинетический изотопный эффект), а также в изменении равновесного распределения дейтерия (термодинамический изотопный эффект). В общем, реакции металлов с дейтерием подобны их реакциям с водородом. D. получают теми же методами, что и гидриды. Дейтерированные соединения находят применение в исследовательских работах при определении строения водородсодержащих молекул и кристаллических фаз. Ядерный магнитный резонанс на ядрах дейтерия используют для изучения структуры гидридов, особенно гидридов переходных металлов. D. применяют также при биологических и физиологических исследованиях; их, в частности *тяжелую воду*, широко используют как *ядерное горючее*, в качестве замедлителей нейтронов в ядерных реакторах. По замедляющей способности тяжелая вода превосходит обычную воду в 170 раз, бериллий — в 675, графит — в 70 раз.

Лит.: Бродский А. И. Химия изотопов. М., 1957; Термические константы веществ. Справочник, в. 1. М., 1965; Шпольский Э. Б. Атомная физика, т. 1. М., 1974; Макней К. Водородные соединения металлов. Пер. с англ. М., 1968; Nouveau traité de chimie minérale, t. 1. Paris, 1956. В. И. Михеева.

ДЕКОРАТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ (франц. *décoratif* — украшающий) — покрытия, улучшающие внешний вид поверхности изделий. Д. п. являются либо элементом объемно-пространственной композиции изделия, либо скрадывают и маскируют дефекты обработки его поверхности, повышая эстетическую ценность и товарную стоимость. Толщина покрытий — от десятых долей до сотен микрометров. Если помимо декоративных целей покрытие защищает материал изделия от коррозии, его называют за-

Цвет покрытия	Прочность сцепления с основой, кгс/см ²	Назначение покрытия
От серебристого блестящего до молочно-белого	~150	Защитно-декоративное
От серого до белого	~100	То же
От темно-серого до черного	~80	»
От светло-серого до черного	~20	Декоративное
От светло-желтого до красноватого	~150	Декоративное Защитно-декоративное
От светлого серебристого до молочно-белого	~150	Декоративное Защитно-декоративное
То же	~150	Защитно-декоративное
Серебристый с желтоватым оттенком	~150	То же
От темно-серого до матового	~80	Декоративное
От светлого, желто-зеленого до темно-коричневого	~200	Защитно-декоративное
От серебристого до молочно-белого	~150	То же
От темно-серого до черного	~80	Декоративное
На сплавах алюминия голубовато-зеленый; на сплавах магния от светло-желтого до темно-коричневого	~150	Защитно-декоративное

щитно-декоративным. Д. п. (табл. сс. 320, 321) бывают металлические (включая и покрытия сплавами), окисные и многокомпонентные (фосфатные, оксикарбидные, гидрокарбидные и т. п.). Кроме того, различают сплошные покрытия и покрытия, образующие смысловой рисунок (одно- и многоцветные, одно- и многослойные, равномерные и специфически разнотолщинные). Особо выделяют покрытия блестящие (с преобладанием зеркальной составляющей отражения), матовые (с преобладанием диффузной составляющей отражения), «мороз» (по внешнему виду напоминающие узоры, образуемые кристаллами льда на стекле) и радужные (отличающиеся вследствие интерференционных эффектов специфической игрой цвета и блеска). Д. п. чаще всего наносят гальваническим способом (на проводящие основы), а также способом химическим (на непроводящие основы), основанным на восстановлении металлов, окислов или др. соединений из растворов их солей или комплексов. Другие методы (термическое испарение в вакууме, ионно-плазменное распыление, дуговое и газопламенное напыление и т. д., см. также *Металлизация*) применяют редко. Д. п. наносят на поверхность изделий из любых конструкционных материалов и практически любой формы. Их широко применяют в автомобильной, авиа- и судостроительной, станкостроительной, радиоэлектронной, оптико-механической, приборостроительной и ювелирной промышленности, а также в произ-ве предметов широкого потребления, в прикладном искусстве.

Лит.: Современные защитно-декоративные покрытия. М., 1974; Защитные покрытия на металлах, в. 1—10. К., 1967—1976; Лайнер Н. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974.

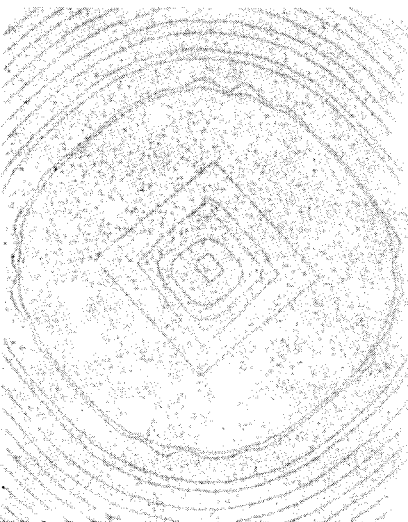
Г. В. Жуков, В. П. Никитский.

ДЕКОРАТИВНЫЙ ЦЕМЕНТ, декоративный портландцемент — цемент, отличающийся от обычного декоративностью, широкой гаммой цветов и чистотой их тона. Производится и используется с начала 20 в. К Д. ц. относятся белый и цветные портландцементы.

Технология производства белого и цветных цемента идентична производству обычного портландцемента, вводится только дополнительный процесс отбеливания клинкера и устанавливаются некоторые спец. требования к сырью и оборудованию. К сырью предъявляются жесткие требования в отношении содержания окрашивающих окислов железа, титана и марганца. В карбонатном сырье окисла железа должно быть не более 0,25%, окисла марганца не более 0,03%; в глинистом сырье содержание окиси железа допускается до 1,5%, а двуокиси титана до 1%; в песчаном сырье содержание окиси железа не должно превышать 0,2%. Сырьевую смесь для получения белого клинкера готовят из двух-трех компонентов. Основные требования к ней: коэфф. насыщения кремнезема известью $0,85 \div 0,88$; силикатный модуль (отношение содержания кремнезема к сумме окислов алюминия и железа) $3,5 \div 4,0$; глиноземистый модуль (отношение содержания окиси алюминия к окиси железа) $15 \div 20$. Сырьевую смесь для обжига белого клинкера изготавливают в трубных мельницах, которые во избежание попадания в смесь железа, разрушающегося от истирания мелющих тел и брони, рекомендуется загружать неметаллическими мелющими телами и футеровать неметаллической броней. Обжиг белого клинкера ведут во вращающихся печах, используемых для обжига клинкера обычного портландцемента, с тем отличием, что зону спекания футеруют тальковым или магнезиальным кирпичем, исключая попадание окрашивающих окислов в клинкер из футеровки. Температура обжига $1500\text{—}1550^\circ\text{C}$, топливо используется беззолное — мазут, природный газ. Чтобы снизить влияние окрашивающих окислов, белый клинкер после обжига отбеливают: при т-ре $1350\text{—}1400^\circ\text{C}$ выгружают из печи и резко охлаждают водой. Разработан также способ отбеливания, заключающийся в обработке клинкера, выходящего из печи при т-ре около 1000°C , в восстановительной газовой среде. Хороший эффект дает комбинированное отбеливание — обработка клинкера восстановительной газовой средой с последующим рез-

ким охлаждением водой. После отбеливания клинкер сушат (если необходимо) и размалывают в многокамерных мельницах. Во избежание загрязнения железом, значительно снижающим белизну, помол белого цемента предпочтительно осуществлять неметаллическими мелющими телами, а мельницы футеровать неметаллической броней. Перспективны струйные мельницы, исключющие попадание металла при помоле. Белый цемент получают совместным помолем белого клинкера, минеральной активной добавки — *диатомита* (до 6%) и *гипса* (до 6%). Допускается введение белой инертной минеральной добавки. Качество белого цемента определяется степенью белизны, которая выражает способность его поверхности отражать световые лучи и определяется коэфф. яркости по отношению к белизне молочного стекла типа МС-14. По степени белизны белый цемент подразделяют на высший сорт с коэфф. яркости свыше 89, первый сорт БЦ-1 с коэфф. яркости 76 и выше и второй сорт БЦ-2 с коэфф. яркости свыше 72. Марки белого цемента (в зависимости от прочности образцов на изгиб и сжатие в 28-дневном возрасте) 300, 400 и 500. Белый цемент приме-

Микрофотография кристалла после вакуумного декорирования дефектов напылением золота.



няют для штукатурки, полов, изготовления белых облицовочных плит, ступеней, декоративных архитектурных деталей и скульптур. Цветные цементы изготавливают совместным помолом в трубных мельницах белого клинкера, активной минеральной добавки, гипса и соответствующего красителя. Различают цемент желтый, розовый, красный, коричневый, зеленый, голубой и черный. Марки его те же, что и белого цемента. Разработана технология производства цветных цемента, заключающаяся во введении в сырьевую смесь соответствующих окрашивающих окислов и дальнейшем размоле их в трубных мельницах с активной минеральной добавкой и гипсом. Цветные цементы, как и белые, применяют для отделки зданий и сооружений, изготовления стропильных и архитектурных деталей, скульптур и др. Свойства белого цемента регламентируются ГОСТом 965—66, цветных цемента — ГОСТом 11 825—70.

Лит.: Череповский С. С., Аleshina О. К. Производство белого и цветного портландцемента. М., 1964; Боженов П. И., Холопова Л. И. Цветные цементы и их применение в строительстве. Л., 1968; Грачян А. Н. (и др.) Технология белого портландцемента. М., 1970. С. Л. Кругляк.

ДЕКОРИРОВАНИЕ (от лат. *deco* — украшаю, делаю заметным) — метод обнаружения *дислокаций* и некоторых других *дефектов в кристаллах*. Заключается в нанесении на поверхность кристалла (или введении в него) определенных примесей с последующей спец. обработкой его, в результате которой на исследуемом дефекте выделяются микроскопические декорирующие частицы или сегрегации. Размеры декорирующих частиц или сегрегаций должны быть достаточно малыми, чтобы можно было различить дефект, и в то же время достаточно большими, чтобы можно было изучать их с помощью микроскопа. Метод Д. дислокаций предложил в 1950 амер. исследователь Ф. Зейц. Различают Д. термическое, химическое, электрическое и вакуумное. Термическое Д. (с использованием термической обработки) обусловлено упругим или электр. взаимодействием примесных

атомов с дислокациями, более быстрой (по сравнению с бездефектной кристаллической решеткой) их диффузией вдоль дислокационных линий. К тому же дислокации могут быть источниками вакансий, способствующих образованию декорирующих частиц (сегрегаций). Недостатки термического Д.: вероятность разрушения исходной дислокационной структуры при термической обработке, невозможность наблюдения дислокаций, закрепленных примесными атомами, в динамике. Х и м и ч е с к о е Д. основывается на избирательной кристаллизации, электрическое Д. — на осаждении декорирующих частиц (сегрегаций) в местах поверхности с особыми адсорбционными, электр., электрохим. и др. св-вами. Избирательная кристаллизация осуществляется при вакуумной кристаллизации испаряемых веществ или при хим. реакциях в растворах; избирательное осаждение — в результате взаимодействия заряженных коллоидных частиц с электрически активными местами поверхности. При в а к у у м н о м Д. (рис. на с. 323) осаждение декорирующих частиц происходит в высоком вакууме. Д. дает возможность определять влияние дефектной структуры на физ.-хим., механические и др. св-ва кристаллических твердых тел. В произв-ве керамических изделий декорированием наз. украшение их спец. красками, эмалью и т. д.

Лит.: Дистлер Г. И. Реальная структура, реакционная способность и дальное действие кристаллических поверхностей. «Известия АН СССР. Серия физическая», 1968, т. 32, № 6; B a s s e t t G. A. A new technique for decoration of cleavage and Slip Steps on ionic crystal surfaces. «The philosophical magazine», 1958, v. 3, № 33; Ф и д е л ь Ж. Дислокации. Пер. с англ. М., 1967. Ю. Н. Петров.

ДЕЛЬТА-ФАЗА (от греч. $\delta\epsilon\lambda\tau\alpha$ — название четвертой буквы алфавита) — фаза, представляющая собой аллотропическую модификацию железа. Впервые исследована франц. металлургом Ф. Осмондом в начале 20 в. Существует от т-ры 1390—1401 до т-ры 1539°С. У Д.-ф. такая же кристаллическая решетка, как и у *альфа-фазы*: объемноцентрированная кубическая с периодом $a = 2,94 \text{ \AA}$.

В простой углеродистой стали Д.-ф. существует в интервале очень высоких т-р, при снижении т-ры превращается в *гамма-фазу* (*аустенит*). Превращение дельта—гамма в чистом железе является аллотропическим, в стали — перитектическим (см. *Перитектика*). Ферритообразующие элементы (напр., хром, молибден, вольфрам), растворяющиеся в *феррите* и стабилизирующие его, способствуют расширению области существования Д.-ф. и сближению ее с областью *альфа-фазы*. При определенной их концентрации эти области могут соединиться в область *твердого раствора* на основе *альфа-железа*. В некоторых сталях (особенно высокохромистых) часть Д.-ф. сохраняется при охлаждении до комнатной т-ры, что обусловливается выделением Д.-ф. с повышенной стабильностью в обогащенных при кристаллизации хромом осях *дендритов*. В межосных участках, обедненных хромом и др. ферритообразующими элементами, при снижении т-ры происходит дельта—гамма-превращение, а в осях дендритов Д.-ф. остается. Области Д.-ф., наиболее пересыщенные хромом, служат центрами зарождения *сигма-фазы*, охрупчивающей сталь. Д.-ф. наблюдается в *нержавеющих сталях* и *жаропрочных сталях* (хромоникелевых), где в процессе длительных выдержек при т-ре 600—800°С также распадается с образованием *сигма-фазы*. Вследствие небольшой прочности феррита при высокой т-ре Д.-ф. снижает *жаропрочность* сталей.

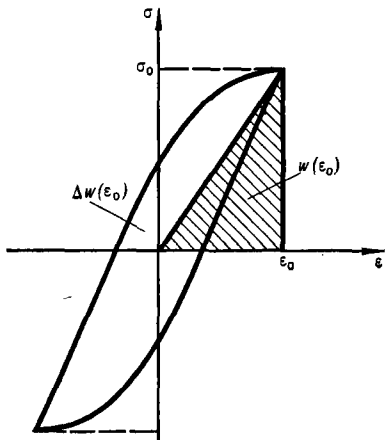
Лит.: Гуляев А. П. Металловедение. М., 1966; Л и в ш и ц Б. Г. Металлография. М., 1971; Металлография железа, т. 1. Пер. с англ. М., 1972.

И. Г. Курдюмова.

ДЕМПФИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ (от нем. Dämpfer — гаситель) — свойство материала демпфировать (гасить) мех. колебания деформируемого тела, необратимо рассеивая часть энергии деформирования. Рассеянная материалом энергия преобразуется в тепловую. Демпфирующая способность имеет большое значение для изделий, испытывающих вибрации, обеспечивая затухание свободных колебаний и ограничение амплитуды резонансных колебаний, а также влияя на динамическую устойчивость и развитие авто-

колебаний деформируемых тел. Д. с. обуславливается несовершенной упругостью материала, к-рая проявляется в нелинейности и неоднозначности зависимости мех. напряжения от деформации при нагружении и разгрузке и приводит при циклическом деформировании к образованию замкнутой кривой — петли гистерезиса (рис.). Площадь петли $\Delta W(\epsilon_0)$ определяет величину рассеянной материалом энергии за цикл его деформирования с амплитудой деформации ϵ_0 . Для амплитуд деформаций, представляющих интерес в инженерной практике, рассеяние энергии в материале обуславливается в осн. микропластическими деформациями, связанными с перемещениями дислокаций, и магнитомеханическим гистерезисом, связанным с необратимыми смещениями границ доменов (областей самопроизвольной намагниченности ферромагнитных материалов). Д. с. обычно характеризуется относительно рассеянием энергии $\psi(\epsilon_0) = \frac{\Delta W(\epsilon_0)}{W(\epsilon_0)}$, где $W(\epsilon_0)$ — амплитудное значение энергии упругого деформирования, или логарифмическим декрементом колебаний $\delta_i = \ln \frac{\epsilon_{0,i}}{\epsilon_{0,i+1}}$, где $\epsilon_{0,i}$ и $\epsilon_{0,i+1}$ — начальная и конечная амплитуды де-

Зависимость между механическим напряжением и деформацией при циклическом деформировании, обуславливающая демпфирующую способность материала.



формации i -го периода свободных колебаний, причем $\delta_i \approx \frac{1}{2} \psi(\epsilon_{0,i_{cr}})$,

где $\epsilon_{0,i_{cr}} = \frac{1}{2}(\epsilon_{0,i} + \epsilon_{0,i+1})$. У большинства материалов относительное рассеяние энергии зависит от амплитуды деформации и практически не зависит от частоты деформирования. Д. с. зависит от хим. состава и структуры материала, т-ры, вида напряженного состояния, режима терми-

Демпфирующая способность материалов

Материал	$\delta_{\max}, \%$
Магний литой	30
Магния сплавы литые	13—30
Марганцовомедные сплавы	10—20
Никельтитановые сплавы	10—15
Кобальтотитановые сплавы	6—12
Чугун с пластинчатым графитом	10—15
Чугун с шаровидным графитом	2—5
Стали хромисые	1—4
Стали углеродистые	0,2—1
Стекло	0,5
Алюминий и алюминия сплавы	0,1—1
Латуни и бронзы	0,1—0,3
Титан и титана сплавы	0,05—0,15

Примечание: Указаны максимальные значения логарифмического декремента колебаний для амплитуды напряжения, равного одной десятой предела текучести материала; образцы материала испытывались при комнатной температуре.

ческой обработки, наличия поля статических напряжений и магн. поля, предварительного пластического деформирования и длительности воздействия циклических напряжений. По Д. с. материалы различаются весьма существенно (табл.). Характеристики Д. с. определяются экспериментально по интенсивности затухания свободных колебаний образца материала, а при вынужденных колебаниях — по относительной ширине резонансной кривой, по углу сдвига фаз между возмущающей силой и деформацией, по отношению

амплитуд деформации при резонансе и в области низких частот, где амплитуда вынужденных колебаний практически не зависит от частоты, или по непосредственно регистрируемой петле гистерезиса.

Лит.: Писаренко Г. С. Рассеяние энергии при механических колебаниях. К., 1962; Писаренко Г. С., Яковлев А. И., Матвеев В. В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник. К., 1971; Фавстов Ю. К., Шульга Ю. Н. Сплавы с высокими демпфирующими свойствами. М., 1973. В. В. Матвеев.

ДЕНДРИТНАЯ СТРУКТУРА — структура материала, закристаллизовавшегося в виде *дендритов*. Образуется при медленной *кристаллизации* вследствие наличия примесей, переохлаждения и плохого перемешивания вещества. Выявляется химическим, тепловым или др. *травлением* шлифов. Тип структуры зависит от направления, по которому плоскость шлифа рассекает дендрит. В разрезах, параллельных главной оси, видна решетчатая структура. В разрезах под некоторым углом к главной оси наблюдаются различные структуры, чаще с одной или двумя осями (рис.). Д. с. характерна для литой стали, особенно при замедленном охлаждении слитков. Такая сталь отличается низкими мех. св-вами и значительной *анизотропией* свойств, которую устраняют *термической обработкой*.

Лит.: Годилов И. Н. Дендритная ликвация в стали. М., 1958; Хворин Н. И. Кристаллизация и неоднородность стали. Пер. с чеш. М., 1958.

С. Б. Масленков.

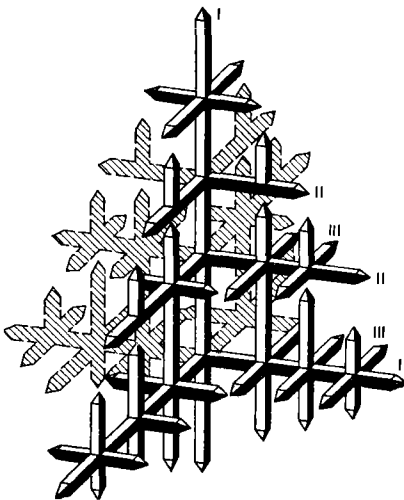
ДЕНДРИТЫ (от греч. δένδρον — дерево) — древовидные (разветвленные) *кристаллы*. Впервые обнаружены (1878) в затвердевшей стали рус. металлургом Д. К. Черновым. Образуются из расплавов, паров или растворов в процессе медленной *кристаллизации* вещества. Непременными условиями роста Д. являются переохлаждение среды и наличие примесей. Этот рост происходит гл. обр. в направлении плоскостей с макс. плотностью упаковки атомов, т. е. с миним. межатомным расстоянием, что и обуславливает образование нескольких ветвей—осей. После возникновения кристаллического зародыша

сначала растет ось 1-го порядка (I), являющаяся главной осью будущего дендритного кристалла, затем перпендикулярно или под некоторым углом к ней растут оси 2-го порядка



Дендритная структура углеродистой стали.

Дендриты: I — ось 1-го порядка (главная ось); II — ось 2-го порядка; III — ось 3-го порядка.



III), перпендикулярно к ним — оси 3-го порядка (III) и т. д. (рис.). Пространство между осями заполняется веществом, обогащенным примесями. В конечном счете вся масса вещества, в т. ч. и вещество между осями, затвердевает, образуя кристаллы, неоднородный по хим. составу. При остывании стальных слитков в изложнице Д. растут в направлении отвода тепла — перпендикулярно к ее стенкам. В местах соприкосновения Д. или отдельных ветвей, как правило, скапливаются примеси, образуются *микropopы*, иногда микроскопические усадочные *раковины*, что ухудшает мех. свойства сплавов. В природе часто встречаются Д. окислов марганца, меди *самородной*, серебра *самородного*, золота *самородного*, сульфидов железа, меди и др. См. также *Дендритная структура*. Лит.: Саратовкин Д. Д. Дендритная кристаллизация. М., 1957; Хворинов Н. И. Кристаллизация и неоднородность стали. Пер. с чеш. М., 1958. С. Б. Масленков.

ДЕСОРБЦИЯ (от лат. de... — приставка, означающая удаление, и sorbeo — поглощаю) — в общем случае выделение вещества, поглощенного твердыми и жидкими телами, в окружающую среду; процесс, обратный сорбции. В более узком в чаще употребляемом смысле десорбция — удаление адсорбированного вещества с поверхности раздела фаз в объем жидкой или газовой среды, т. е. Д. обратна *адсорбции*. Физ. и некоторые виды хим. адсорбции (см. *Хемосорбция*) термодинамически обратимы. Адсорбционно-десорбционное равновесие сдвигается в сторону десорбции с уменьшением концентраций адсорбируемого вещества в окружающей среде, с повышением его температуры, иногда вследствие облучения. Обратимость адсорбции не всегда бывает полной. Так, в системе твердый адсорбент — пар (газ) может наблюдаться т. н. *сорбционный гистерезис*, заключающийся в несовпадении изотерм сорбции и Д.: в обратном процессе (Д.) определенному давлению соответствует большее количество поглощенного сорбентом вещества, чем в прямом. Причинами гистерезиса могут быть капиллярная конденсация пара в открытых *порах* сорбента, набухание сорбента или хим. ре-

акция в поверхностном слое. Д. лежит в основе процессов регенерации, т. е. восстановления поглотительной способности сорбентов и извлечения поглощенных ими ценных пром. продуктов. В зависимости от типа сорбента и характера технологического процесса Д. осуществляют различными путями: продувают сорбент перегретым водяным паром, горячим воздухом или др. газом, промывают его соответствующими растворителями или специально подготовленными растворами, прокаливают и вакуумируют.

Лит. см. к ст. *Адсорбция*, *Сорбция*.

Л. А. Шич.

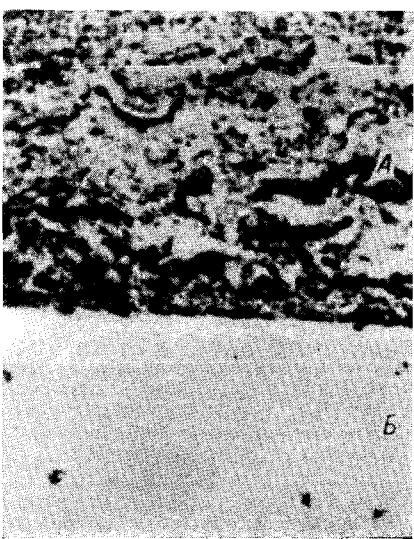
ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

(от франц. *détonation* — взрыв) — покрытия из порошков, распыленных продуктами детонации несущей их газовой смеси и нанесенных на поверхность изделий; вид *защитных покрытий*. Для создания Д. и. используют *никелевый порошок*, *композиционные материалы* с металлической связкой (напр., WC + Co) и некоторые *тугоплавкие соединения* (Al_2O_3 , Cr_2O_3 и др.). Д. п. напосят на поверхность изделий из сталей, цветных и легких сплавов с твердостью не выше 60 HRC любой формы и размеров, за исключением отверстий, а также внутренних полостей, длина которых больше двух диаметров. Получение Д. п. основано на распылении дисперсного порошка в спец. стволе, заполненном взрывчатой смесью (гл. обр. эквимоллярной смесью ацетилена с кислородом), при воспламенении которой образуется детонационная ударная волна, распространяющаяся со скоростью до 3000 м/сек. В течение 3—4 мксек скорость перемещения продуктов детонации достигает 1400 м/сек. Подхватывая введенный в ствол порошок, газовая смесь переносит его на поверхность изделия со скоростью до 800—1000 м/сек. Скорость частиц при детонационном напылении в 5—10 раз превышает их скорость при создании *плазменных покрытий* и *газоплазменных покрытий*, что существенно повышает плотность напыленного покрытия, а также прочность сцепления покрытий, нанесенных детона-

ционным способом, с материалом основы. Установка для нанесения Д. п. обычно состоит из смесительной камеры с системой клапанов, ствола, устройства для дозированного введения в ствол и распыления в нем порошка, программного устройства и системы зажигания электр. искрой. Изделия устанавливают в манипуляторе на пути потока порошка, на расстоянии 70—180 мм от среза ствола. Есть также установки с беспланым газораспределением, с возбуждением детонации взрывчатым веществом. Покрытие необходимой толщины (обычно 0,015—1 мм) создают серий последовательных циклов напыления — выстрелов (их частота — три — пять в секунду). Предварительный подогрев изделий не требуется: нагретый в стволе порошок повышает т-ру их поверхности до 250° С, что является существенным преимуществом детонационного способа нанесения покрытий. После выстрела на поверхности изделия образуется круг напыления, диаметр которого равен внутреннему диаметру ствола (15—30 мм), а толщина составляет 10—15 мм. При частоте пять выстрелов в секунду производительность процесса составляет около 600 см²/мин. Перед нанесением покрытия поверхность изделий обезжиривают, после его нанесения шероховатую поверхность шлифуют (если необходимо) абразивными кругами и алмазным инструментом. Свойства Д. п. зависят от скорости, хим. состава и дисперсности порошка (обычно не выше 20 мкм), места введения порошка в ствол и расстояния от среза ствола до изделия. Структура покрытия (рис.) характеризуется ярко выраженной слоистостью (слои вытянуты вдоль напыляемой поверхности), покрытие практически полностью прилегает к материалу основы, отличается высокой плотностью ($\geq 98\%$). Поскольку детонация непродолжительна, детонационная волна не оказывает существенного влияния на свойства, форму и размеры изделия. Д. п. формируются в результате совместной пластической деформации тонкого поверхностного слоя изделия и напыляемого порошка, а также ра-

зогрева места напыления, вследствие чего плотность покрытия и его сцепление с материалом основы в значительной мере зависят от скорости напыляемых частиц. Если частицам величиной 20 мкм не придана оптимальная скорость (напр., частицам никеля не менее 800 м/сек), покрытие отличается плохим качеством. К наиболее распространенным Д. п. относятся *износостойкие покрытия*, в т. ч. износостойкие при повышенной т-ре (до 980° С) в окислительной среде, коррозионностойкие покрытия (80—85% Cr₃C₂ и 15—20% NiCr), ударотермостойкие покрытия (WC + 9 ÷ ÷ 15% Co и др.). Твердость таких покрытий 700 ÷ 1400 HV, пористость (закрытая) 1—3%, прочность сцепления с материалом основы 7—15 кгс/мм². Д. п. применяют в машино- и приборостроении гл. обр. для повышения *износостойкости* и *эрозионной стойкости* узлов трения, режущего и измерительного инструмента, конусов для волочения, валков для обработки металлов давлением, контактных поверхностей деталей и лопаток газотурбинных двигателей. Д. п. позволяют существенно улучшать технико-экономические показатели при эксплуатации изде-

Детонационное покрытие, полученное напылением твердого сплава ВК-15 (А) на никелевый сплав ЖС-6К (Б), $\times 600$.



лий. Срок эксплуатации инструментов для резания бумаги после нанесения покрытия на основе карбида вольфрама увеличивается в 10—30 раз, стойкость стальных конусов для волочения после нанесения покрытия из окиси хрома увеличивается в три — семь раз, срок эксплуатации лопаток газовых турбин после нанесения покрытия на основе карбида вольфрама толщиной до 170 мкм увеличивается в 15—20 раз.

Лит.: Зверев А. И., Миросниченко И. Ю. Использование явления детонации для нанесения покрытий. «Порошковая металлургия», 1972, № 11; Шаривкер С. Ю., Астахов Е. А., Гарда А. П. Влияние скорости полета напыляемых частиц на прочность сцепления напыленных покрытий. «Физика и химия обработки материалов», 1974, № 5.

[Г. В. Самсонов], С. Ю. Шаривкер.

ДЕФЕКТОСКОПИЯ (от лат. defectus — недостаток и греч. σχολέω — смотрю, наблюдаю) — неразрушающие методы выявления в материалах внутренних и поверхностных дефектов. Сформировалась как совокупность методов контроля в 20—30-х гг. 20 в. Методы Д. обычно классифицируют, учитывая используемый для контроля физ. эффект. Так, наиболее простой — визуальный — метод основан на явлении отражения света (свет по-разному отражается от бездефектной поверхности и от дефектов материала) (см. *Дефекты керамики, Дефекты металлов, Дефекты стекла*). Внешнюю поверхность материала изучают невооруженным глазом или с помощью лупы, для изучения внутренней поверхности используют спец. трубки с осветителями. Поверхность исследуемого материала обычно подвергают тщательной очистке, в особых случаях — легкому травлению, вследствие чего мелкие дефекты, реагируя с травителем сильнее, чем бездефектная зона, выявляются более четко. Визуальный метод (с использованием лупы) позволяет обнаруживать поверхностные дефекты размерами до 0,01 мм. Недостатки метода — низкая производительность и элемент субъективности. Капиллярная Д. основана на искусственном повышении свето- и цветоустойчивости дефектных мест (по сравнению с бездефектной поверхностью) с помощью индикаторной жидкости (пенетранта), в к-рую вводят люминофоры или кра-

сители. Проникая по капиллярам в поверхностный дефект, индикаторная жидкость обозначает его местонахождение (см. также *Капиллярная дефектоскопия, Керосино-меловой метод дефектоскопии, Люминесцентный метод дефектоскопии, Цветной метод дефектоскопии*). Методы магнитной Д. (магнитно-порошковый, магнитографический, феррозондовый и др.), используемые для контроля ферромагнитных материалов или ферромагнитных материалов, основаны на регистрации магн. полей рассеяния на дефектах или магн. свойств контролируемого изделия (см. также *Магнитная дефектоскопия*). При использовании магнитно-порошкового метода дефекты выявляют с помощью ферромагнитного порошка или магн. суспензии, оседающих на дефектных местах (см. также *Магнитно-порошковый метод дефектоскопии*). Кроме того, применяется покрытие частиц ферромагнитного порошка флюоресцирующим веществом. Дефекты в этом случае выявляют, облучая изделия ультрафиолетовыми лучами (см. также *Магнитно-люминесцентный метод дефектоскопии*). В магнитографическом методе используют магниточувствительную пленку, к-рую прикладывают к намагниченной поверхности исследуемого материала. Пространственное расположение в нем дефектов определяется считыванием «магнитного изображения» с помощью магн. головки; регистрация проводится электроннолучевым индикатором. Разновидность этого метода является способ, по к-рому магнитофонная головка сканирует непосредственно поверхность изделия (см. также *Магнитографический метод дефектоскопии*). Феррозондовый метод основан на регистрации созданных дефектами магн. полей рассеяния спец. приборами — феррозондами (см. также *Феррозондовый метод дефектоскопии*). В электроиндуктивной, или электромагн. Д., применяемой для контроля как ферромагн., так и неферромагн. материалов, анализируется эффект, вызванный изменением (из-за наличия дефектов) взаимодействия собственного элект-

ромагн. поля катушки с электромагн. полем вихревых токов, наводимых этой катушкой в контролируемом изделии. Для осуществления такого контроля нет необходимости в электр. или мех. контакте с исследуемым материалом (см. также *Электромгн. индуктивная дефектоскопия*). Термоэлектрическая Д. основана на зависимости термоэдс от хим. состава и состояния контролируемого материала. Гальванометр, соединенный с переносной контактной вилкой термоэлектрического прибора, измеряет термоэдс между эталоном (материал контактов) и испытуемым изделием (см. также *Термоэлектрическая дефектоскопия*). Рентгеновская Д. заключается в просвечивании материала рентгеновскими лучами. Для регистрации дефектов используют рентгеновскую пленку, люминесцирующие экраны, ионизационные счетчики и др. (см. также *Рентгеновская дефектоскопия*). Гамма-дефектоскопия основана на просвечивании материалов гамма-лучами с использованием в качестве регистрирующих устройств сцинтилляционных и газоразрядных счетчиков, электронно-оптических преобразователей и др. Гамма-дефектоскопия менее чувствительна, чем рентгеновская дефектоскопия, однако обладает преимуществами, обусловленными компактностью источника излучения и большей проникающей способностью (см. также *Гамма-дефектоскопия*). Оптическая Д. основана на взаимодействии светового излучения с контролируемым изделием. В различных вариантах ее используются видимая часть оптического спектра, инфракрасное или ультрафиолетовое излучение (см. также *Оптическая дефектоскопия*, *Инфракрасная дефектоскопия*). В основе акустической Д. лежит регистрация параметров упругих колебаний, возбужденных в контролируемом изделии. В ней используются различные области спектра упругих колебаний, однако наибольшее распространение получила ультразвуковая Д., в к-рой используется способность упругих волн ультразвукового диапазона отражаться от поверхности внутренних дефектов ма-

териала. Прогн. колебания возбуждаются в контролируемом изделии генераторами, входящими в состав дефектоскопов; регистрация параметров упругих колебаний и их изменений осуществляется в приемниках при помощи спец. индикаторов. Преимущества акустической и, в частности, ультразвуковой Д. — возможность обнаружения дефектов на большой глубине, относительная легкость разработки автоматизированных систем контроля. Недостатки — влияние на распространение упругих колебаний неоднородностей структуры материала (см. *Гетерогенная структура*), трудность контроля изделий сложной формы, с шероховатой поверхностью, сложность (в некоторых случаях) однозначной расшифровки сигналов (см. также *Акустическая дефектоскопия*, *Велосиметрический метод дефектоскопии*, *Импедансный метод дефектоскопии*, *Резонансный метод дефектоскопии*, *Собственных колебаний метод дефектоскопии*, *Теневой метод дефектоскопии*, *Ультразвуковая дефектоскопия*, *Эхометод дефектоскопии*). Значительное распространение получила Д., основанная на регистрации электростатических полей и электр. параметров контролируемого изделия (см. *Электростатическая дефектоскопия*, *Электросопротивления метод дефектоскопии*, *Трибозлектрическая дефектоскопия*). Радиоволновой контроль основан на регистрации изменения параметров электромагн. колебаний радиочастотного диапазона, взаимодействующих с контролируемым изделием (см. *Радиодефектоскопия*). Д. дает возможность повышать надежность материалов и долговечность материалов, добиваться большого экономического эффекта при их производстве и эксплуатации.

Лит.: Денель А. К. Дефектоскопия металлов. М., 1972; Румянцев С. В. Радиационная дефектоскопия. М., 1974; Методы неразрушающих испытаний. Пер. с англ. М., 1972; Ретти П. Неразрушающие методы контроля металлов. Пер. с венг. М., 1972.

М. В. Белоус.

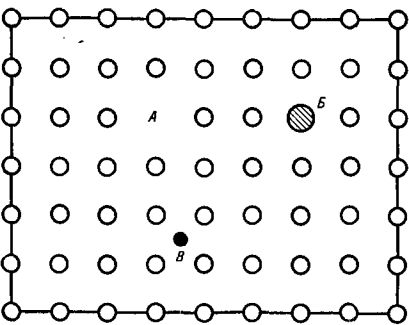
ДЕФЕКТЫ В КРИСТАЛЛАХ (лат. defectus — недостаток) — нарушения периодичности расположения атомов (ионов) в реальных кристаллах. Подразделяются на точечные, линейные, поверхностные (или плоские) и объемные. Т о ч е ч н ы м и д е ф е к -

г а м и наз. нарушения, бесконечно малые в трех измерениях. К ним относятся *вакансии*, атомы в междоузлиях (дислоцированные атомы), примесные атомы, а также нек-рые их комбинации (напр., скопления вакансий или атомов в междоузлиях). Один из видов точечных дефектов — пары Френкеля, возникающие при переходе атома из узла решетки в междоузлие, достаточно удаленное от образовавшейся вакансии. В результате получается пара «дислоцированный атом — вакансия», каждая составляющая к-рой может перемещаться в объеме кристалла. Другая возможность образования вакансий в кристалле (дефекта Шотки) заключается в перемещении атома из норм. положения в узле кристаллической решетки на поверхность кристалла. Точечные дефекты являются центрами расширения и сжатия решетки кристалла. Примесные атомы могут либо замещать атомы осн. компонентов (дефекты замещения), либо располагаться в междоузлиях (дефекты внедрения) (рис. 1). В приближении упругоизотропного континуума и модели «атомов-шариков» смещения, создаваемые таким точечным дефектом, можно описать формулой

$$\vec{U} = A\vec{r} + B \frac{\vec{r}}{r^3},$$

где \vec{U} — вектор смещения точки, определяемой радиусом-вектором \vec{r} (начало координат — в центре дефекта);

Рис. 1. Точечные дефекты в кристаллической решетке: *A* — вакансия; *B* — примесный атом в положении замещения (дефект замещения); *B* — примесный атом в положении внедрения (дефект внедрения).



A и *B* — константы, зависящие от размеров кристалла, граничных условий и разности размеров атомов, образующих дефект. Точечные дефекты, в отличие от других, могут находиться в термодинамическом равновесии при конечной *т-ре* кристалла. Они значительно влияют на физ. свойства кристаллов. Так, в ионных и ковалентных кристаллах влияние на св-ва оказывают точечные дефекты, образующиеся вследствие взаимодействия простых дефектов (вакансий, примесных атомов) с электронами и дырками. К таким дефектам относятся, напр., центры окрашивания (*F*, *V* и др.) в ионных кристаллах. Так, *F*-центр, поглощающий свет в видимой области спектра, представляет собой электрон, захваченный вакантным узлом отрицательного иона, а *V*-центр, поглощающий свет в ультрафиолетовой области спектра, представляет собой дырку, захваченную вакантным узлом положительного иона. В полупроводниковых кристаллах (напр., в кристаллах германия, кремния) точечные дефекты могут носить акцепторный или донорный характер. Как акцепторы, так и доноры образуются примесными атомами, находящимися в положении замещения или в положении внедрения. Акцептор — дефект, обуславливающий примесную дырочную проводимость (проводимость *p*-типа). Одним из дефектов такого типа является примесный атом галлия (с тремя валентными электронами) в решетке германия (с четырьмя валентными электронами). В парноэлектронной связи галлий — германий обязательно возникает дырка, к-рая может взаимодействовать с др. валентными электронами и мигрировать через решетку. Акцепторы повышают электр. проводимость, причем осн. носителями заряда (положительного) в них служат дырки. Донор — дефект, обуславливающий примесную электронную проводимость (проводимость *n*-типа). Дефект такого типа — примесный атом сурьмы (с пятью валентными электронами) в решетке германия (с четырьмя валентными электронами). Один из электронов атома сурьмы оказывается «лишним» и

может мигрировать через решетку, обуславливая электронную проводимость. Изменяя концентрацию акцепторов и доноров, можно в широких пределах изменять электр., оптические и др. характеристики полупроводник. кристаллов. Л и н е й н ы м и д е ф е к т а м и наз. нарушения, малые в двух измерениях и протяженные в третьем. Характер линейных дефектов и создаваемых ими полей смещений описывают с помощью контура Бюргерса. В кристалле с линейным дефектом контур Бюргерса может быть либо замкнутым, либо разомкнутым (рис. 2), в связи с чем их подразделяют на две подгруппы. Первой подгруппе (замкнутый контур Бюргерса) соответствуют иглообразные дефекты (рис. 2, б), напр. цепочки вакансий или примесных атомов. Вторую подгруппу (разомкнутый контур Бюргерса) составляют дислокации. Разомкнутый контур Бюргерса в кристалле с дислокацией «замыкается» вектором Бюргерса (рис. 2, в). Иными словами, если

$$\vec{U}(\vec{U}_1(x_1x_2x_3); \vec{U}_2(x_1x_2x_3); \vec{U}_3(x_1x_2x_3))$$

(где x_1, x_2, x_3 — декартовы координаты любой рассматриваемой точки в кристаллическом теле за исключением точек, лежащих на линии дефекта) — вектор смещения, обусловленный линейным дефектом, а $d\vec{l}$ — элемент достаточно большого замкнутого контура, проведенного вокруг линейного дефекта, то интеграл

$$I = \oint \frac{\partial \vec{U}}{\partial l} dl$$

равен нулю при иглообразном дефекте или вектору Бюргерса \vec{b} , если дефект является дислокацией. В изотропном кристалле смещения атомов решетки, обусловленные прямолинейным иглообразным дефектом, описываются вектором

$$\vec{U} = C\vec{r} + D\frac{\vec{r}}{r^2},$$

где \vec{r} — вектор, проведенный от оси дефекта к данной точке решетки в

плоскости, перпендикулярной оси дефекта; C и D — константы, зависящие от размеров кристалла, граничных условий и пр. Устойчивость таких дефектов невелика: они легко распадаются на составляющие их точечные дефекты при диффузии атомов. Более устойчивы дислокации, хотя и они не могут существовать в состоянии термодинамического равновесия при т-ре, ниже т-ры плавления кристалла. По существу дислокация представляет собой граничную линию, отделяющую часть кристалла, в к-рой произошла деформация сдвига, от части кристалла, еще не затронутой сдвигом (рис. 3). Простейшими видами дислокаций являются прямолинейные краевые (вектор Бюргерса перпендикулярен линии дислокации) и винтовые (вектор Бюргерса параллелен линии дислокации) дислокации. Дислокационная линия не может обрываться внутри кристалла. Она либо выходит на поверхность кристалла, либо замыкается внутри него, образуя дислокационную петлю. Возможно также окончание дислокационной линии в точке пересечения ее с другой дислокацией — в т. н., дислокационном узле. Сколь-

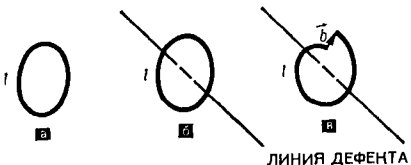
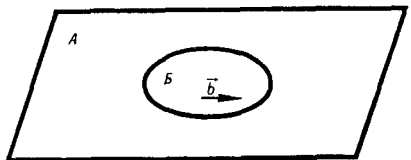


Рис. 2. Деформация контура Бюргерса (l) при введении в кристалл линейных дефектов: а — замкнутый контур в идеальном (без дефектов) кристалле; б — замкнутый контур с иглообразным дефектом (площадь, ограниченная контуром, может изменяться); в — разомкнутый контур с дислокацией (его можно «замкнуть» вектором Бюргерса \vec{b}).

Рис. 3. Дислокация в кристалле: А — область, не затронуемая сдвигом; Б — область, в которой произошла деформация сдвига (вектор сдвига \vec{b}).



ящие дислокации (дислокации с целочисленными векторами Бюргерса) являются подвижными дефектами решетки, они легко перемещаются в плоскостях скольжения под влиянием приложенных напряжений (консервативное перемещение). Кроме скользящих, в кристаллах могут быть и малоподвижные («сидячие») дислокации (дислокации Франка, Ломера — Коттрелла и др.). Особый класс составляют такие дислокации, векторы Бюргерса к-рых не соответствуют полной трансляции атомов в решетке. Эти дислокации, приводящие к возникновению в решетке новых мех. устойчивых конфигураций атомов, наз. полудислокациями, или дислокациями частичными (неполными). Для наблюдения дислокаций используют трансмиссионную электронную микроскопию (рис. 4), рентгеновские топографические методы (см. *Рентгено топографический анализ*) и др. физ. методы исследования. Дислокации существенно влияют на физ. свойства кристаллов: уменьшают плотность, увеличивают электрическое сопротивление и пр. (см. также *Дислокации*). Поверхностными дефектами наз.

Рис. 4. Дислокационные линии в кристалле никеля (электронная микроскопия), $\times 20\,000$.



нарушения, значительно протяженные в двух измерениях и малые в третьем. Они разделяют в кристалле объемы, решетки к-рых отличаются друг от друга (напр., пространственной ориентацией, расположением атомов в пространстве). Такие дефекты могут быть бездислокационно-го и дислокационного характера. Характерные их виды — дефекты упаковки и межзеренные и субзеренные границы. Дефекты упаковки — нарушения в чередовании плотноупакованных плоскостей, чаще всего встречающиеся в плотноупакованных структурах (кубической гранецентрированной и гексагональной решетке), т. е. в структурах, формирующихся путем чередования слоев с плотнейшей упаковкой атомов (рис. 5, а на с. 334). Гексагональная плотноупакованная решетка формируется из плотноупакованных атомных слоев (рис. 5, 6), наращиваемых в направлении $[0001]$. На расстоянии $c/2$ от плоскости базиса (слой А) наращивается такой же плотноупакованный слой, но сдвинутый по направлению малой диагонали на одну треть расстояния MP (слой В); затем конфигурация этих двух положений плотноупакованных слоев (к-рую символически можно изобразить как AB) периодически повторяется: $\dots ABABAB \dots$ В гранецентрированной кубической решетке атомные слои наращиваются в направлении $[111]$ так, что каждый последующий слой сдвинут по отношению к предыдущему на одну треть расстояния MP (рис. 5, в). Следовательно, эту структуру можно символически представить периодическим повторением конфигурации ABC , т. е. $\dots ABCABCABC \dots$ В гексагональных кристаллах дефект упаковки приводит к образованию прослойки, в к-рой порядок укладки атомных плоскостей свойственен гранецентрированной кубической решетке: $\dots ABABABCSBCSBCS \dots$ В гранецентрированной кубической решетке дефект упаковки образует прослойку с чередованием, характерным для гексагональной решетки: $\dots ABCABCSCSABCSCS \dots$ Дефекты упаковки возможны и в кристаллах с

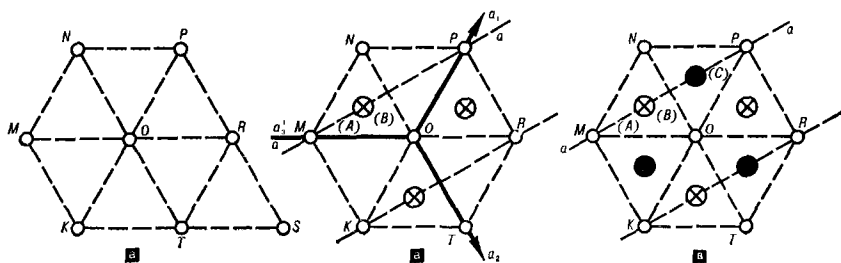
др. типами кристаллической решетки (с кубической объемноцентрированной решеткой, решеткой типа алмаза и др.). Если структура бездислокационная, дефект упаковки простирается через весь кристалл. Внутри кристалла такой дефект ограничивается частичными дислокациями. Межзеренные и субзеренные границы, также являющиеся поверхностными дефектами, представляют собой переходную область между частями кристалла, различно ориентированными в пространстве (см. *Границы зерен*). Поверхностные дефекты значительно влияют на св-ва кристаллических тел, особенно на их прочностные св-ва. Увеличение количества таких дефектов, препятствующих свободному перемещению дислокаций, приводит к *упрочнению* кристаллов. К тому же они могут значительно увеличивать скорость диффузии. Объемными дефектами наз. нарушения, не являющиеся малыми во всех трех измерениях. К ним относятся скопления точечных дефектов типа *пор* и включения второй фазы. Кроме того, поскольку из-за наличия точечных, линейных и поверхностных дефектов кристаллическая решетка может отличаться от идеальной в больших объемах (в частности, ориентацией), такие области кристалла можно рассматривать как объемные дефекты. Так, в монокристалле с «выделениями» в виде кристалликов с иной ориентацией решетки наблюдаются значительные различия между центральной частью «выделения» и матрицей. В матрице возникают смещения атомов, убывающие с удалением от «выделения». При большом количестве таких дефектов.

сильно различаются ориентацией, кристалл является *поликристаллом*, отдельные части к-рого с совершенной структурой (за исключением упругих деформаций решетки) разделены поверхностными дефектами. Дефекты типа *пор* и выделений второй фазы, как и поверхностные дефекты, существенно влияют на прочностные св-ва кристаллов. Большинство высокопрочных и жаропрочных сплавов являются поликристаллами с тонкодисперсными выделениями одной или нескольких фаз (интерметаллидных, карбидных и др.).

Лит.: Инденбом В. Л. Дислокации в кристаллах. «Кристаллография», 1958, т. 3, в. 1; Тихонов Л. В. Дефекты кристаллической решетки. В кн.: Герцпаркен С. Д. [и др.]. Физические основы прочности и пластичности металлов. М., 1963; Рид В. Т. Дислокации в кристаллах. Пер. с англ. М., 1957; Мак Лин Д. Границы зерен в металлах. Пер. с англ. М., 1960; Примеси и дефекты. Пер. с англ. М., 1960; Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. Пер. с англ. М., 1962; Родес Р. Г. Несовершенства и активные центры в полупроводниках. Пер. с англ. М., 1968; Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. Пер. с англ. М., 1972.

Л. В. Тихонов.
ДЕФЕКТЫ КЕРАМИКИ — пороки, возникающие вследствие нарушения технологии изготовления изделий из керамической массы. Различают Д. к., связанные с искажением размеров и формы изделия, напр. коробление и деформация; Д. к., связанные с изменением структуры из-

Рис. 5. Порядок укладки атомов в плотноупакованных структурах: а — плотнейшая упаковка атомов на плоскости; шестиугольник $KMNPRT$ — плоскость базиса $[0001]$ плотноупакованной гексагональной ячейки; треугольник KPS — плоскость октаэдра в кубической гранецентрированной ячейке; б — чередование атомных плоскостей в гексагональных кристаллах; вид по $[0001]$; тип $ABAB...$; в — чередование атомных плоскостей в кубическом гранецентрированном кристалле; вид по $[111]$; тип $ABCABC...$; \circ , \oplus , \bullet — атомы соответственно в слоях А, В и С.



делий, напр. трещины, прыщи, посечки и свилю, и Д. к., представляющие собой пороки поверхности изделия или глазурного покрытия, напр. пузыри, мушки, выплавки, цек, отскакивание глазури, слет и сборка глазури, задувка, вскипы и наколы, металлический блеск, пожелтение белой глазури и засорка. К о р о б л е н и е возникает в процессе обжига керамики из-за неодинаковой плотности объема полуфабриката, перепада т-ры в печном пространстве, предпочтительной ориентации частиц при формировании изделий, сил трения между изделием и подставкой (см. также *Коробление*). Д е ф о р м а ц и я обуславливается *пережогом керамики* — обжигом изделий выше необходимой т-ры. Т р е щ и н ы возникают из-за недостаточной обработки керамической массы, неодинаковой плотности различных мест полуфабриката, резкого повышения т-ры во время наибольшей *усадки* или резкого охлаждения (особенно, когда обожженный материал содержит кристаллическую фазу, склонную к модификационному превращению), неправильной укладки изделий и т. п. (см. также *Трещины*). П р ы щ и (мелкие вздутия в материале на глубине 1—2 мм) образуются в результате сгорания органических примесей (сажистого углерода и др.) в конце обжига или в начале охлаждения. Причины дефекта — недостаточная продолжительность выдержки при

Дефекты керамики (глазурного покрытия): крупные пузыри и нерастворившиеся кристаллы кварца.



т-ре 800—1000° С в окислительной газовой среде, малое количество кислорода в продуктах сгорания топлива или снижение т-ры в период этой выдержки. Устраняют дефект повышением коэфф. избытка воздуха ($\alpha = 1,5 \div 1,8$) или уменьшением расхода топлива, а также увеличением времени выдержки. П о с е ч к и (мелкие трещины, возникающие из-за неравномерной усадки при сушке и обжиге изделий) устраняют подбором оптимального зернового состава (чтобы уменьшить усадочные явления), оптимизацией режима сушки и обжига. Для устранения с в и л е й (неоднородностей керамики) обеспечивают тщательное перемешивание керамической массы, улучшают конструкцию формовочного оборудования. П у з ы р и (мелкие и крупные вздутия на поверхности керамики, рис.) возникают под действием газобразных продуктов разложения окиси железа или сульфидов (иногда сульфатов) при т-ре, когда в материале уже образовалась вязкая стекловидная фаза (для фарфора т-ра более 1250° С), препятствующая удалению газов. Пузыри устраняют, проводя восстановительный период (для фарфора т-ра 1000—1200° С) с достаточной концентрацией окиси углерода (более 2%) в продуктах сгорания топлива, продлевая выдержку. М у ш к и (мельчайшие темные пятна на поверхности изделия) появляются при обжиге в результате попадания в сырьевые материалы железистых примесей. Устраняют дефект сортированием исходного сырья, его магн. сепарацией и т. п. В ы п л а в к и (большие темные включения или оплавленные углубления на поверхности изделия) обуславливаются наличием железистых примесей (темные включения) или плавлением крупных легкоплавких частиц примесей (оплавленные углубления). Дефект устраняют применением сырьевых материалов с миним. содержанием примесей, тонким измельчением и магн. сепарацией сырья. Ц е к (тончайшие трещины на глазурном покрытии) возникает, если температурный коэфф. линейного расширения глазури больше, чем керамического

материала. Если же этот коэфф. больше у керамического материала, происходит **отскакивание глазури**. Цек и отскакивание устраняют подбором глазури с соответствующим температурным коэфф. линейного расширения или нанесением промежуточного слоя между глазурью и керамическим материалом. **Слет** (отслаивание) также устраняют подбором соответствующей глазури. **Сборка глазури** (капельки и складки на поверхности изделия), обусловленная плохой смачиваемостью изделия глазурью, вызывается нарушением хим. состава или технологией приготовления глазури, недостаточной очисткой поверхности полуфабриката от пыли, жирных пятен и др. Во избежание сборки следят за хим. составом и технологией приготовления глазури, тщательно очищают поверхность полуфабрикатов. **Задумка** (темные — от зелено-коричневых до оранжевых — пятна на поверхности изделий) возникает в результате осаждения на изделии примесей, содержащихся в топливе. Устраняют дефект очисткой (отстаиванием, фильтрованием) жидкого топлива, защитой изделий от прямого воздействия пламени (напр., загрузкой в капсулы — цилиндрические коробки), уменьшением содержания окиси углерода в продуктах сгорания. **Вскипы** (тонкостенные пузырьки на поверхности глазури) и **наколы** (мелкие кратеры на поверхности глазури) образуются в результате выгорания сажиного углерода, осевшего из продуктов сгорания. Устраняют их уменьшением содержания окиси углерода в восстановительный период или повышением т-ры обжига. **Металлический блеск** коричневой глазури возникает вследствие ее восстановления с образованием пленки металла или чистых окислов и науглероживания. Устраняют его увеличением скорости охлаждения и снижением содержания окиси углерода (до 1—2%) в конце обжига. **Пожелтение** белой глазури (в результате окисления кислородом газовой среды закиси железа до окиси железа, отличающейся

содержанием цветом) устраняют увеличением скорости охлаждения от макс. т-ры до 1000° С. Для устранения засорки (прилипших к обжигаемой поверхности изделия частиц огнеупора) повышают качество огнеупорного материала, из которого сделаны капсулы.

Лит.: Будников П. П. [и др.]. Технология керамики и огнеупоров. М., 1962; Никулин Н. В., Кортнев В. В. Производство электрокерамических изделий. М., 1965; Будников П. П., Геворкян Х. О. Обжиг фарфора. М., 1972; Нацисевский Ю. Д. [и др.]. Эффективные строительные материалы. К., 1974; Кингери У. Д. Введение в керамику. Пер. с англ. М., 1967. Г. А. Выбрик.

ДЕФЕКТЫ МЕТАЛЛОВ — нарушения регулярной кристаллической структуры металлов. Возникают при изготовлении и эксплуатации металлических изделий. Существенно влияют на свойства металлов. Д. м. классифицируют по морфологическим (наружные, внутренние, в сочленениях), генетическим (механические, термические, диффузионные, коррозионные, адсорбционные, радиационные, эрозийные, кавитационные, сварочные и др.) и структурным (*трещины, поры, неметаллические включения, разнородность и др.*) признакам. Кроме того, есть физ. классификация Д. м. (см. *Дефекты в кристаллах*), основывающаяся на атомном строении дефектов. В зависимости от размера Д. м. подразделяют на субмикродфекты, микродфекты и макродфекты (табл.). **Субмикродфекты** — нарушения регулярной кристаллической структуры металлов в атомном масштабе. Различают субмикродфекты точечные, линейные, поверхностные и объемные. Точечные нарушения бесконечно малы в трех измерениях. Возникают при вычитании атомов металла (*вакансии и твердые растворы* вычитания), внедрении собственных (атомы в междоузлиях) или инородных атомов (твердые растворы внедрения), а также замещении собственных атомов инородными (твердые растворы замещения). Образуют скопления в отдельности или в комбинации. Линейные субмикродфекты малы в двух измерениях и протяжены в третьем. Из них наибольшее значение имеют дислокации, обуславливающие мех. и др. свойства

реальных металлов (см. Пластичность). Дислокации образуются в процессе пластического деформирования или вследствие перестройки скоплений точечных субмикродефектов. Так, петли дислокаций вычитания возникают при «схлопывании» дискообразных скоплений вакансий, а петли дислокаций внедрения — вследствие перестройки скоплений из междоузельных атомов. Дислокации скапливаются на различных барьерах (см. также Упрочнение) и в определенных условиях (см. также Хрупкость) переходят в сверхдислокации и субмикротрещины. Поверхностные субмикродефекты протяженны в двух измерениях и малы в третьем. К ним относятся дефекты упаковки (см. Дислокации), субграницы (см. Полигональная структура), границы зерен, межфазные границы (см. Гетерогенная структура), границы двойников (см. Двойниковая структура), антифазные границы (см. Антифазная структура) и поверхность металла. Размеры объемных субмикродефек-

тов соизмеримы в трех измерениях. К ним относятся субмикропоры, возникающие вследствие изотропного роста скоплений вакансий, субмикропузыри и сегрегации. Субмикропузыри образуются при наличии в металле газа, который стабилизирует исходную субмикропору значительным внутренним давлением. Сегрегация инородных атомов (иногда в форме зон Гинье — Престона) — начальная стадия распада пересыщенных твердых растворов, следующей стадией является образование и рост зародышей выделений второй или более фаз: обычно карбидов при отпуске сталей или интерметаллидов при старении сплавов. К микрo-дeфeктам относятся нарушения, обнаруживаемые с помощью оптического микроскопа. Некоторые из них, в частности микропоры, микротрещины, микропузыри газов и дисперсные включения (интерметаллиды

Дефекты металлов

Вид дефекта	Минимальный размер дефекта	Дефект внедрения	Дефект вычитания	Дефект протяженный
Субмикродефект	$1 + 5 \text{ \AA}$	Междоузельные атомы, пары междоузельных атомов	Вакансии, дивакансии	—
	$5 + 50 \text{ \AA}$	Скопления междоузельных атомов, сегрегации инородных атомов, зоны Гинье—Престона, газовые субзародыши, петли дислокаций	Скопления вакансий, петли дислокаций	Поверхность металла, дислокации, дефекты упаковки, границы зерен, границы двойников, антифазные границы, межфазные границы, субграницы, сверхдислокации, субмикротрещины
	$50 + 2000 \text{ \AA}$	Субмикропузыри газов, дисперсные выделения (карбидов в отпущенных сталях, интерметаллидов в состаренных сплавах)	Субмикропоры	
Микродефект	$0,2 + 1000 \text{ мкм}$	Дисперсные включения (неметаллические, карбидов в отожженных сталях, интерметаллидов в перестаренных сплавах), микропузыри газов	Микропоры	Остаточные микронапряжения, дендриты микроликвидации, микротрещины, пленки, расслоения, непровары, разноразмерность, перегрев, пережог
Макродефект	$>1 \text{ мм}$	Неметаллические включения, газовые пузыри, рыхлота	Поры	Остаточные макронапряжения, трещины, заковы, риски, царапины, флокены, волосовина, усадка, раковины

в перестаренных сплавах, карбиды в отожженных сталях), образуются в результате роста соответствующих субмикродефектов. Другие микродефекты (напр., разнотернистость) обуславливаются нагревом металла до высоких т-р при наличии дисперсных включений. Разнотернистость заключается в появлении аномально крупных зерен (до 1000 мкм) на фоне мелкозернистой полиэдрической структуры исходного металла. Более длительный нагрев вызывает перегрев металла — появление крупнокристаллической структуры. При еще более высоких т-рах возможен пережог металла, характеризующийся окислением, а иногда и частичным оплавлением границ зерен. Особым типом микродефектов являются остаточные микронапряжения (см. также *Остаточное напряжение*), локализованные в пределах зерен поликристалла и обусловленные избытком дислокаций одного знака. К микродефектам относятся также дендриты, возникающие в результате микроскопической ликвации. Ликвация приводит и к волокнистой структуре осесимметрично деформированных металлов и к полосчатой структуре в процессе прокатки, когда участки металла разного состава оказываются вытянутыми в направлении деформирования. Эти структуры могут привести к расслоению при низкотемпературном деформировании металла. Волокнистая и полосчатая структуры возникают и при наличии неметаллических включений (см. также *Шлаковые включения* в металлах) в исходном металле. Если сталь после горячего деформирования охлаждать недостаточно быстро, эти включения могут вызвать появление светловин — обогащенных ферритом участков в структуре доэвтектоидной стали (см. также *Светловина*). В литых металлах встречаются плены — тонкие шлаковые или окисные пленки. Близки к ним по структуре и свойствам неспарывы, возникающие при сварке плавлением. Эти микродефекты характеризуются отсутствием сплавления между металлом шва и осн. металлом или же — при многослойной сварке —

между слоями металлшва и связанны обычно с наличием тонких прослоек окисла или шлака. Макродефекты иногда являются дальнейшим развитием микродефектов, что относится, в частности, к газовым пузырям, включениям (обычно неметаллическим), трещинам и порам. Газовые пузыри нередко приводят к возникновению рыхлоты при усадке в ходе затвердевания жидких металлов; при этом обычно возникает усадочная раковина, обычно представляющая собой воронкообразную полость в верхней части слитка. Если в стали содержится водород, могут образоваться флокены — внутренние трещины, заполненные водородом в молекулярной форме под значительным давлением. Рванины — нарушения сплошности наружных частей неравномерно деформируемого металла — обычно являются следствием его перегрева и особенно пережога (см. также *Рванины*). Нередко в металле возникают остаточные макронапряжения, обусловленные неравномерным пластическим деформированием, фазовыми превращениями или воздействием неоднородных тепловых полей и приводящие к короблению изделий. При сварке плавлением иногда происходит прожог, заключающийся в вытекании металла сварочной ванны на обратную сторону шва с образованием в нем отверстий. В результате взаимодействия углерода стали с кислородом воздуха или влажным водородом наблюдается обезуглероживание стали — обеднение ее поверхностных слоев углеродом. На поверхности металлических заготовок обычно есть вмятины, риски или царапины. Если такие заготовки подвергать ковке, могут возникнуть заковы — расщепленные складки, если заготовки обрабатывать прокаткой, могут образоваться закаты — вдавленные складки и заусеницы (закаты нередко переходят в поверхностные волосовины). Методы обнаружения Д. м. зависят гл. обр. от размера дефектов. Субмикродефекты при небольшой плотности изучают преим. с помощью физ. методов структурного анализа (см. *Рентгеноструктурный анализ*, *Электронномикроскопический анализ*). Если их плотность большая, предпочтительны калориметрический

анализ и dilatометрический анализ (см. также Волюмометрический анализ). Микродефекты определяют непосредственно — с помощью металлографического анализа или косвенно — по изменению физико-мех. свойств (см. Испытания материалов механические). Для обнаружения макродефектов и наиболее крупных микродефектов используют различные методы дефектоскопии. Макродефекты в большинстве случаев снижают конструкционную прочность и надежность материалов (исключением служат поры в пенометаллах). Роль микродефектов и особенно субмикродефектов двойственна — они могут упрочнять металлы и создавать потенциальные очаги разрушения. В связи с этим повышение надежности изделий сводится не к аннгиляции всех дефектов (см., напр., Отдых кристаллов), а к оптимизации их количества и распределения с целью одновременного повышения прочности, пластичности и долговечности металла или улучшения иных свойств. Наиболее распространенные технологические приемы заживления Д. м. сводятся к термической обработке. Так, отжиг деформированных металлов приводит к развитию полигонизации и рекристаллизации (см. также Возврат кристаллов, Рекристаллизационный отжиг), которые существенно изменяют дислокационную и зеренную структуру, а также анизотропию физико-мех. св-в (см. также Текстура металла). Оптимизация совокупности Д. м. достигается обычно сочетанием закалки с последующим отпуском (см. также Старение металлов, Старение материалов). Более перспективны технологические приемы заживления Д. м., заключающиеся в механико-термической обработке. Эти приемы направлены на создание упорядоченной дислокационной структуры и стабилизации ее вследствие взаимодействия с другими дефектами, в частности с инородными атомами и дисперсными выделениями. В конечном итоге механико-термическая обработка приводит к релаксации локальных перенапряжений, повышению конструкционной прочности и надежности изделий.

Лит.: Герцрикен С. Д. [и др.]. Физические основы прочности и пластич-

ности металлов. М., 1963; Гордиенко Л. К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов. М., 1973; Словарь-справочник по сварке. К., 1974; Металлофизика, в. 61—62. К., 1975; Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел. Пер. с англ. М., 1971; Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. Пер. с англ. М., 1972. Л. Н. Лариков.

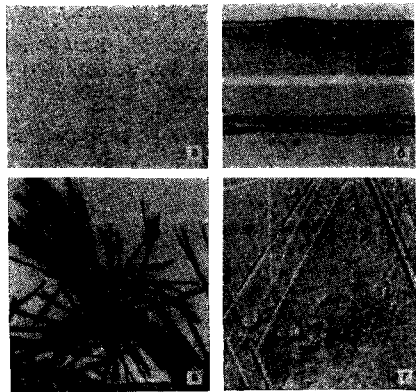
ДЕФЕКТЫ СТЕКЛА — нарушения физической однородности и сплошности стекла. Различают дефекты структурные, технологические и эксплуатационные; внутренние (в объеме) и поверхностные; ультрамикроскопические (до 1 мкм), микроскопические (до 100 мкм) и макроскопические (до 1 мм и более). Структурные дефекты, т. е. локальные несовершенства и нарушения регулярности структуры, характерны для всех неорганических стекол и обусловлены своеобразным поликомпонентным, неупорядоченным и микронеоднородным их строением — разной координацией атомов в ближнем порядке (полиэдрах), индивидуальностью полимерного строения стеклообразующих цепей и каркасов, характером надмолекулярных областей структуры. К таким дефектам относятся субмикроразрывы в стеклообразующем каркасе, вызываемые его хим. и термической деполимеризацией, нарушения, связанные с наличием вакансий (кислорода) и примесных атомов, замещением кремния в каркасе др. катионами (бора, алюминия) или образованием областей микронеоднородности (рис., а на с. 340), субмикротрещины и микротрещины, возникающие вследствие микронапряжений на границах разнородных структурных комплексов и областей микронеоднородности. Размер таких областей в структуре обычных пром.

стекол составляет 20—100 Å, а в нек-рых (боросиликатных) достигает 300—600 Å. Характер структурных дефектов существенно зависит от природы (состава) стекла и условий его варки и термической обработки (отжига, закалки), а также от излучений высокой энергии (гамма-излучения и нейтронного). Дефекты такого рода влияют преимущественно на структурно-чувствительные св-ва

стекла: оптические (преломление и дисперсию света), термические, электрические, акустические (скорость ультразвука) и механические (*упругость, микротвердость*). Микро-неоднородности структуры обнаруживают методами рентгеновской малоугловой дифракции, рассеяния света, инфракрасной спектроскопии (см. *Инфракрасная дефектоскопия*) и электронной микроскопии (см. *Электронномикроскопический анализ*). Технологические дефекты образуются в процессе стекловарения, формования, термической и мех. обработки изделий. При стекловарении наиболее типичными дефектами (пораками стекломассы) являются: газовые включения в виде «мошки» (диаметром 0,8 мм) и пузырей (0,8—3 мм), содержащих сернистый и углекислый газ, кислород и воздух; стекловидные инородные включения — т. н. свида (рис., б) — волосяные, нитевидные, узловые, каплевидные, расположенные в толще стекла (рельефные свида) или на его поверхности (поверхностные) и шпиль — в виде капель правильной формы на поверхности; кристаллические включения — нерастворившиеся при варке зерна («камни») шихты (кварца, sillиманита, корунда, циркона и др.) или огнеупоров печи (шамота, dinasа, муллита, корунда и пр.) и продукты кристаллизации («рух») самой стекломассы (рис., в) в виде различных минералов (кристобалита, тридимита, девитрита, волластонита, диоксида и др.). Возникновение таких дефектов обуславливается непостоянством хим., зернового и минералогического состава сырья, неоднородностью шихты, нарушением температурного режима варки, осветления и охлаждения стекломассы (в частности, недостаточной т-рой и продолжительностью варки), ее интенсивным взаимодействием с огнеупорами печи. При формовании стекла из-за большого градиента т-р между формирующим устройством (формой) и стекломассой, ее хим. и термической неоднородности, нарушения температурного и временного режима формования, из-за неисправности, изношенности и загрязнения

форм образуются неровности поверхности изделий — ворсинки, шероховатости, морщины, волнистость, полосность и царапины (на тянутом листовом стекле), бугристая («кованая») поверхность (особенно при прокатке) или швы и каверны от форм и следы отреза ножницами (выдувание и прессование), возникают пузыри, разнотолщинность, вмятины, заусеницы, загибы, разрывы, посечки и трещины (особенно при прессовании и прокатке). Если нарушен режим термической обработки, наблюдается термопластическая деформация, образуются посечки и трещины, а при недостаточном отжиге остаточные внутренние напряжения (1-го рода) превышают допустимый предел. У механически обработанного *полированного стекла* наиболее распространены дефектами являются микронеровности поверхности (рис., г) — мельчайшие (глубиной 0,1—1 мкм) выколки и царапины (тонкие — шириной $6 \div 20$ мкм, более грубые — до 100 мкм). Эксплуатационные дефекты возникают преимущественно на поверхности стекла и обусловлены гл. обр. гидролитической коррозией во влажной среде (особенно при неправильном транспортировании и складировании) и физико-мех. повреждением (абразивным и ударным). В результате гидролитической коррозии образуются налеты, помутнения и точечные каверны, а при фи-

Дефекты стекла: а — структурная микро-неоднородность; б — свиль на поверхности (разрез); в — внутри стекла; г — кристаллы девитрита; г — выколки, тонкие и грубые царапины.



зико-мех. повреждения — невидимые микротрещины, царапины и посечки, видимые трещины и сколы. Технологические и эксплуатационные дефекты, помимо ухудшения внешнего вида изделий (пузыри, кристаллические включения, неровность поверхности и др.), нарушают прозрачность стекла («кованая» поверхность, шероховатость, помутнение и «налеты» на ней), вызывают в нем оптические искажения (свилы, морщины, полосность, волнистость и др.). Кроме того, они служат концентраторами напряжений (особенно свилы, кристаллические включения, царапины, трещины), способствующими значительному снижению мех. прочности и термической стойкости изделий или самопроизвольному их разрушению. Технологические и эксплуатационные дефекты выявляют визуальным методом, а также иммерсионным фракционированием по плотности (анализ однородности), теневым и растровым проектированием (свилы, пузыри, неровность поверхности), поляризационно-оптическим (свилы, мех. напряжения), петрографическим и рентгеноструктурным анализом (кристаллические включения), люминесцентным анализом и спектральным анализом (свилы, «камни»), химикоаналитическим (газы в пузырях, свилы, «камни»), электронномикроскопическим (тонкие дефекты поверхности и др.) и микрорентгено-спектральным анализом. Структурные и технологические дефекты предотвращают, рационально проектируя состав стекла, применяя кондиционные сырьевые материалы, совершенствуя процессы приготовления шихты (повышая степень измельчения в перемешивания компонентов), стекловарения (увеличивая т-ру, степень дегазации и гомогенизации, стойкость огнеупоров стекловаренных печей) и отжига (устраняя деформацию и остаточные напряжения), а также улучшая мех. обработку (увеличивая степень ровности и неповрежденности поверхности). Эксплуатационные дефекты устраняют хим. травлением поверхности (обычно плавиковой кислотой). Предотвращают такие дефекты нанесением различных защитных покрытий (окиснометаллических, органических, кремнийорганических и др.).

Лит.: Справочник по производству стекла, т. 2. М., 1963; Фандерлик М. Пороки стекла. Пер. с чеш. М., 1964.

С. И. Сильвестрович.

ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ (от лат. *deformo* — придаю вид, формирую) — упрочнение материала пластическим деформированием при продолжении механического нагружения за пределом текучести. Связано с эволюцией взаимодействующих дислокаций при пластическом течении и изменением систем скольжения, обусловленным наличием дисперсных составляющих различной прочности. Более интенсивное упрочнение характерно для поликристаллов с мелкозернистой структурой; в свою очередь и твердые растворы упрочняются интенсивнее, чем чистые металлы. По мере увеличения деформации интенсивность упрочнения, характеризуемая модулем упрочнения, снижается. Деформационное упрочнение металлов сопровождается повышением твердости, электрического сопротивления, магнитной проницаемости, изменением теплопроводности. Влияние на Д. у. т-ры, среды, реакторного облучения и др. зависит от природы и структурного состояния материала. Мех. модель упрочняющегося материала можно представить в виде пружины и элементов трения, связанных свободными от натяжения тяжелыми нитями. В этой модели Д. у. трактуется как процесс последовательного включения в работу элементов трения. Начало движения каждого элемента соответствует определенной стадии упрочнения. Степень Д. у. зависит не только от текущих значений напряжений, но и от истории нагружения. У упрочняющегося материала работа добавочных напряжений при замкнутом цикле нагружения и разгрузки положительна, если он пластически деформирован, и равна нулю при упругих деформациях. Если св-ва материала не зависят от времени, а процесс деформирования изотермический, то при произвольной системе напряжений возможны упрочнения: изотропное (поверхность, ограничивающая область безопасных напряжений, расширяется изотропно, не изменяя

своей формы и положения в пространстве напряжений), трансляционное (предельная поверхность перемещается в направлении деформирования, сохраняя свою форму и размеры) и комбинированное. Эффект трансляционного упрочнения преобладает на начальной стадии деформирования; при дальнейшем нагружении осн. значение приобретает расширение предельной поверхности. Иногда в области, примыкающей к направлению деформирования, поверхность вытягивается, образуя угловую точку (угол текучести). Д. у. позволяет в широких пределах регулировать конечные св-ва материала и поэтому используется при обработке металлов давлением, дробеструйной обработке, обкатке роликами и др. технологических операциях для придания необходимых св-в материалу, особенно в сочетании с соответствующей термической обработкой. См. также *Пластичность*. Лит.: Кнетс И. В. Основные современные направления в математической

теории пластичности. Рига, 1971; Фридман Я. Б. Механические свойства металлов, ч. 1—2. М., 1974; Физика прочности и пластичности. Пер. с англ. М., 1972.

А. А. Лебедев.

ДЕФОРМИРУЕМАЯ БРОНЗА — бронза, поддающаяся обработке давлением. Есть Д. б. оловянистые, в которых преобладающим легирующим элементом является олово (см. *Оловянистая бронза*), и безоловянистые, или специальные (табл. 1—3). Оловянистые Д. б. известны с древних времен, безоловянистые нашли пром. применение лишь в начале 20 в. Д. б. обладают высокой прочностью и пластичностью, коррозионной стойкостью в атмосфере, пресной и морской воде, растворах неокисленных солей, к-тах и др. агрессивных средах. Добавки фосфора, цинка и свинца повышают прочность, упругие и антифрикционные св-ва оловянистых бронз. Оловянистые Д. б. паять мягкими припоями лучше, чем безоловянистые. Большинство Д. б. упрочняют деформационным наклепом (рис. на с. 344). Д. б. с переменной концентрацией твердого раствора, содержащие бериллий, хром и др. легирующие элементы, упрочняются

Таблица 1. Химический состав оловянистых деформируемых бронз

Марка бронзы	Содержание элементов, %					
	Cu	Sn	P	Zn	Ni	Pb
БрОФ8,0-0,3	Основа	7,5—8,5	0,25—0,35	—	0,10—0,20	—
БрОФ7-0,2	»	7,0—8,0	0,10—0,25	—	—	—
БрОФ6,5-0,4	»	6,0—7,0	0,26—0,40	—	0,10—0,20	—
БрОФ6,5-0,15	»	6,0—7,0	0,10—0,25	—	—	—
БрОФ4-0,25	»	3,5—4,0	0,20—0,30	—	—	—
БрОЦ4-3	»	3,5—4,0	—	2,7—3,3	—	—
БрОЦС4-4-2,5	»	3,0—5,0	—	3,0—5,0	—	1,5—3,5
БрОЦС4-4-4	»	3,5—5,0	—	3,0—5,0	—	3,5—4,5

Таблица 2. Химический состав безоловянистых деформируемых бронз (кроме алюминиевых)

Марка бронзы	Содержание элементов, %				
	Cu	Be	Mn	Ni	Прочие
БрБ2	Основа	1,8—2,1	—	0,2—0,5	—
БрБНТ1,7	»	1,6—1,85	—	0,2—0,4	0,1—0,25 Ti
БрБНТ1,9	»	1,85—2,10	—	0,2—0,4	0,1—0,25 Ti
БрМц5	»	—	4,5—5,5	—	—
БрКМц3-1	»	—	1,0—1,5	—	2,75—3,5 Si
БрКН1-3	»	—	0,1—0,4	2,4—3,4	0,6—1,1 Si
БрКд1	»	—	—	—	0,9—1,2 Cd
БрХ0,7	»	—	—	—	0,4—1,0 Cr

дисперсионным твердением. Д. б., кроме свинецсодержащих, хорошо поддаются обработке давлением в горячем и холодном состоянии. Полуфабрикаты готовят из слитков прокаткой, прессованием и ковкой. Калиброванные прутки, трубы и проволоку получают из прессованных заготовок волочением с промежуточными смягчающими *отжигами*. Д. б. марок БрОФ3,0-0,3 и БрОФ6,5-0,4 выпускают в виде проволоки, используемой при произ-ве сеток бумагоделательных машин. Из Д. б. марки БрОФ6,5-0,4 производят также ленты и полосы, предназначенные

для изготовления пружин и деталей машин. Из Д. б. марки БрОФ7-0,2 получают прутки, идущие на изготовление шестеренок, зубчатых колес, втулок и прокладок высоконагруженных машин. Д. б. марки БрОФ6,5-0,15 выпускают в виде лент, полос, прутков, труб и проволоки, к-рые применяют в произ-ве пружин, втулок, вкладышей подшипников и других деталей машин. Из Д. б. марки БрОФ4-0,25 изготавливают трубы, используемые в хим. и

Т а б л и ц а 3. Свойства деформируемых бронз (кроме алюминиевых)

Марка бронзы	$D, \text{г/см}^3$	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	$\lambda, \text{кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{град}^{-1}$	$\sigma_{\text{В}}, \text{кгс/мм}^2$	$\delta, \%$	НВ
БрОФ8-0,3	8,6	880	0,175	0,093	17,0	40—50 100—120	55—65 1—2	90—100 180—240
БрОФ7-0,2	8,6	900	0,17	0,1	17,0	38—45 90—100	55—65 1—2	85—95 175—230
БрОФ6,5-0,4 БрОФ6,5-0,15	8,7 8,8	995	0,16	0,17	17,1	30—45 70—80	60—70 7—10	70—90 170—220
БрОФ4-0,25	8,9	1060	0,09	0,2	17,6	30—38 50—70	40—58 6—10	55—70 160—170
БрОЦ4-3	8,8	1045	0,09	0,2	18,0	30—40 50—60	35—45 3—6	50—70 150—170
БрОЦС4-4-2,5	8,9	1018	0,09	0,2	18,2	30—35 55—65	35—45 2—4	50—70 150—170
БрОЦС4-4-4	9,1	1015	0,09	—	18,1	32—36 50—60	30—40 1—2	—
БрВ2	8,2	955	0,07	0,20	16,6	40—60 90—100	40—50 2—4	70—90 320
БрВНТ1,7	8,2	865	0,09	0,23	17,0	40—50 60—90	—	80—120 150—240
БрВНТ1,9	8,3	860	0,09	0,24	16,5	40—60 65—95	30—50 1—3	90—130 170—270
БрМц5	8,6	1047	0,20	0,26	20,4	30—36 50—60	35—45 150—170	70—90 150—170
БрКМц3-1	8,4	—	0,25	0,11	18,0	35—40 65—75	50—60 6—8	70—90 150—170
БрКН1-3	8,8	1084	0,05	—	18,0	40—45 50—60	25—30 6—8	80—100 150—200
БрКд1	8,9	1076	0,02	0,82	—	26—34 50—60	35—45 1,5—3,0	50—70 95—115
БрХ0,7	8,9	1084	0,02	0,80	—	22—25 45—50	25—35 4,6	50—70 130—140

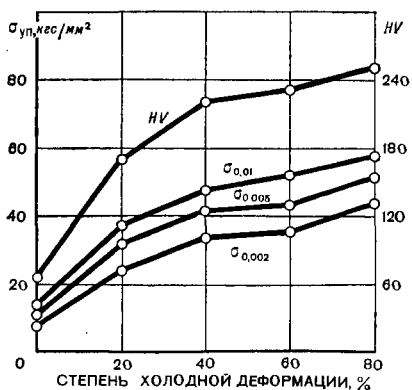
П р и м е ч а н и е: В числителе приведены значения для отожженного состояния, в знаменателе — для твердого состояния.

теплотехнических аппаратах и контрольных приборах (манометрах и др.). Д. б. марки БрОЦ4-3 выпускают в виде лент, полос, прутков и проволоки, к-рые находят применение в электротехнике — для изготовления токопроводящих пружин, контактов и штепсельных разъемов, в хим. машиностроении — для изготовления различных деталей аппаратов. Д. б. марок БрОЦС4-4,2,5 и БрОЦС4-4-4 поставляют в виде лент и полос, из к-рых изготавливают втулки и прокладки для автомобилей и тракторов. Упругие и усталостные св-ва пружин из оловянистых Д. б. повышают *отпуском* при т-ре 250—300° С. Многие безоловянистые Д. б., напр. *алюминиевые бронзы, бериллиевые бронзы, бронзы кремнемарганцевые*, не уступают, а некоторые даже превосходят по своим прочностным и антикоррозионным св-вам оловянистые Д. б. Бериллиевые Д. б. обладают более высоким пределом упругости и наименьшей величиной упругого гистерезиса, чем остальные Д. б. Бериллиевые Д. б. марок БрБ2, БрБНТ1,7 и БрБНТ1,9 выпускают в виде лент, полос, проволоки и прутков, применяемых для изготовления пружин и др. упругих элементов, а также высокопрочных деталей машин. Эти Д. б. обладают лучшей *электропроводностью*, чем оловянистые. После *закалки* с т-ры 780—800° С и старения при т-ре 300—350° С их твердость достигает 330—500 НВ, а предел упругости $\sigma_{0,02} = 110\text{--}120 \text{ кгс/мм}^2$. Кремнемарганцевая Д. б. марки БрКМц3-1 (анвердур) характеризуется высокой коррозионной стойкостью, хорошими мех. и антифрикционными св-вами. Прутки, ленты, полосы и проволоку из нее используют для изготовления пружин, втулок, вкладышей подшипников, баков, резервуаров и хим. аппаратуры. Д. б. марки БрКН1-3 поставляют в виде прутков и поковок, используемых для изготовления антифрикционных деталей. Д. б. марки БрМц5 отличается высокой *жаростойкостью*. Поковки из нее используют для изготовления жаростойких деталей. Д. б. марки БрХ0,7 обладает электро- и теплопроводностью,

близкой к электро- и теплопроводности меди, но значительно превосходит ее по прочности при комнатной и повышенной т-рах. Из нее изготавливают плиты, прутки, проволоку и листы, используемые для производства сварочных электродов, дисков электродов, электр. контактов и др. Кадмиевая Д. б. марки БрКд1 отличается высокой электропроводностью и прочностью при комнатной т-ре, высокой *износостойкостью*. Ее выпускают в виде шин и проволоки, из которых изготавливают коллекторные пластины электр. машин и троллейные провода. Хим. состав оловянистых Д. б. определяет ГОСТ 5017—74, безоловянистых — ГОСТ 18175—72, ГОСТ 16130—72 и ГОСТ 4134—48. Лит.: Справочник машиностроителя, т. 6. М., 1964; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

Г. Е. Шпичинецкий, Е. С. Шпичинецкий.
ДЕФОРМИРУЕМАЯ ЛАТУНЬ — латунь, поддающаяся обработке давлением. Обладает высокой прочностью, пластичностью, коррозионной стойкостью. Д. л., содержащие 88—97% Cu, наз. *томпаками*, а содержащие 79—86% Cu — *полутомпаками*. Д. л. подразделяют на двойные (простые) и многокомпонентные (специальные) (табл. 1, 2). Двойные Д. л. применяли с древних времен. Они содержали только медь и цинк. Многокомпонентные латуни за рубежом применяют с начала 20 в., в СССР — с 1925. В их состав входят, кроме

Зависимость механических свойств деформируемой бронзы марки БрОЦ4-3 от степени холодной деформации.

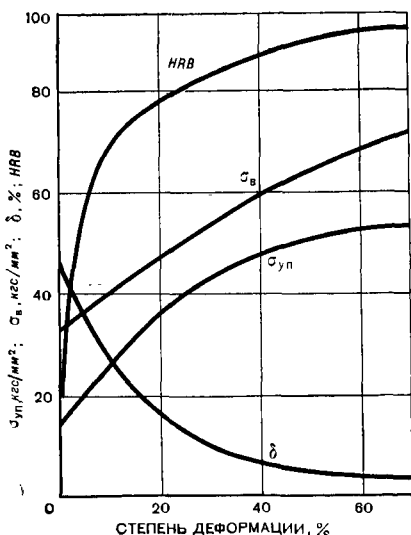


меди и цинка, добавки олова, алюминия, никеля, кремния, марганца, железа и мышьяка. Добавки олова повышают коррозионную стойкость Д. л. в морской и пресной воде. Алюминий, никель, кремний и марганец повышают прочность и коррозионную стойкость, улучшают антифрикцион-

ные свойства латуни. Железо и никель измельчают зерно и повышают т-ру рекристаллизации. Мышьяк предохраняет латунь от обесцинкования. Д. л. упрочняют деформаци-

Таблица 1. Химический состав деформируемых латуней (кроме алюминиевых и автоматных)

Марка латуни	Содержание элементов, %								
	Cu	Fe	Mn	Al	Sn	Si	Ni	As	Zn
Л96	95,0—97,0	—	—	—	—	—	—	—	Остальное
Л90	88,0—91,0	—	—	—	—	—	—	—	»
Л85	84,0—86,0	—	—	—	—	—	—	—	»
Л80	79,0—81,0	—	—	—	—	—	—	—	»
Л70	69,0—72,0	—	—	—	—	—	—	—	»
Л68	67,0—70,0	—	—	—	—	—	—	—	»
Л63	62,0—65,0	—	—	—	—	—	—	—	»
Л60	59,0—62,0	—	—	—	—	—	—	—	»
ЛЖМц59-1-1	57—60	0,6—1,2	0,5—0,8	0,1—0,4	0,3—0,7	—	—	—	»
ЛН65-5	64—67	—	—	—	—	—	5,0—6,5	—	»
ЛМц58-2	57—60	—	1,0—0,2	—	—	—	—	—	»
ЛО90-1	88—91	—	—	—	0,25—0,7	—	—	—	»
ЛО70-1	69—71	—	—	—	1,0—1,5	—	—	—	»
ЛО62-1	61—63	—	—	—	0,7—1,1	—	—	—	»
ЛО60-1	59—61	—	—	—	1,0—1,5	—	—	—	»
ЛК80-3	79—81	—	—	—	—	2,5—4,0	—	—	»
ЛМц68-0,06	67—70	—	—	—	—	—	—	0,025—0,08	»
ЛОМц70-1-0,05	69—71	—	—	—	1,0—1,5	—	—	0,025—0,06	»



онным наклепом (рис.); при этом латуни, содержащие менее 79% Cu, склонны к коррозионному растрескиванию в среде сернистыми и аммиачными соединениями. Низкотемпературный отжиг при т-ре 250—300° С дает возможность устранить этот недостаток без снижения прочностных св-в. Полуфабрикаты из Д. л. в виде листов, лент, полос, прутков, проволоки и поковок получают из слитков прокаткой, прессованием, волочением и ковкой. Д. л. (кроме автоматных латуней) хорошо поддаются обработке давлением в холодном и горячем состоянии, штампованию, выдавливанию, накатке и рифлению, их легко сваривать, лудить и паять мягкими припоями. Двойные Д. л. применяют

Зависимость механических свойств двойной деформируемой латуни марки Л80 от степени деформации.

Таблица 2. Свойства деформируемых латуней (кроме алюминиевых и автоматных)

Марка латуни	D, г/см³	t _{пл} , °C	λ, ккал/см·сек·х × град	ρ, ом·мм²/м	σ _B , кгс/мм		δ, %	
					твердой	мягкой	твердой	мягкой
Л96	8,85	1070	0,53	0,043	42—48	22—26	1—3	45—55
Л90	8,78	1045	0,43	0,040	44—52	24—28	2—5	42—48
Л85	8,75	1025	0,36	0,047	53—58	26—30	2—5	40—48
Л80	8,66	1000	0,34	0,060	61—68	30—35	3—6	48—56
Л70	8,61	950	0,29	0,069	63—70	30—35	2—4	50—60
Л68	8,60	938	0,27	0,072	66—74	30—35	2—4	50—60
Л63	8,44	906	0,26	0,074	68—75	38—45	1—3	45—50
Л60	8,40	904	0,25	0,075	65—75	37—42	1—3	43—43
ЛЖМц59-1-1	8,5	900	0,24	0,093	68—75	42—48	5—12	45—55
ЛН65-5	8,6	960	0,14	0,146	68—75	38—45	3—6	60—65
ЛМц58-2	8,4	880	0,17	0,118	68—75	38—45	5—12	38—45
ЛО90-1	8,75	1015	0,30	0,054	48—56	25—31	3—6	43—50
ЛО70-1	8,6	935	0,22	0,072	68—75	32—38	3—5	55—65
ЛО62-1	8,5	906	0,26	0,072	68—75	38—43	3—5	38—41
ЛО60-1	8,5	900	0,26	0,070	54—60	36—40	5—12	38—44
ЛК80-3	8,2	890	0,10	0,2	58—65	28—34	3—5	53—60
ЛМш68-0,05	8,6	937	0,27	0,072	68—76	32—37	3—5	50—60
ЛОМш70-1-0,05	8,61	949	0,23	0,071	62—69	32—33	2—4	50—60

Продолжение табл. 2

Марка латуни	HВ		E, кгс/мм²		α · 10⁴, град⁻¹	Обрабатываемость резанием по сравнению с обрабатываемостью латуни марки ЛО63-3, принятой за 100%
	твердой	мягкой	твердой	мягкой		
Л96	130—145	55—63	11 400	—	17	20
Л90	130—145	50—60	10 500	—	17	20
Л85	120—130	50—60	10 500	—	18,7	30
Л80	140—150	50—60	11 400	10 600	18,8	30
Л70	145—155	52—62	11 200	—	18,9	30
Л68	145—155	52—62	11 500	11 000	19,0	30
Л63	150—160	55—63	11 600	—	20,5	—
Л60	152—160	56—64	11 800	—	20,7	—
ЛЖМц59-1-1	155—165	85—95	—	10 600	22,0	25
ЛН65-5	160—165	55—65	—	11 200	18,2	30
ЛМц58-2	170—180	80—90	—	10 000	21,2	22
ЛО90-1	140—155	53—61	—	10 500	18,4	30
ЛО70-1	145—155	55—65	—	10 500	19,7	40
ЛО62-1	140—150	75—85	—	10 500	19,3	40
ЛО60-1	145—155	72—82	—	10 500	21,4	40
ЛК80-3	170—190	95—105	—	9800	17,0	30
ЛМш68-0,05	145—155	52—60	11 500	—	19,0	30
ЛОМш70-1-0,05	140—150	50—58	11 400	—	19,0	30

для изготовления различных трубок, деталей хим. и теплотехнической аппаратуры, гильз патронов и снарядов, музыкальных инструментов, фурнитуры, декоративных и др. изделий. Многокомпонентные Д. л. используют в судо-, авиа- и машиностроении при производстве деталей, к которым предъявляются требования повышенной прочности и коррозионной стойкости в большом интервале температур.

Лит.: Справочник машиностроителя, т. 6. М., 1964; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

Г. Е. Шпичинецкий, Е. С. Шпичинецкий.
ДЕФОРМИРУЕМАЯ СТАЛЬ — сталь, поддающаяся пластическому деформированию. К Д. с. (табл. 1, 2) относятся сталь строительная (*рельсовая сталь, судостроительная сталь*), конструкционная (*автоматная сталь, заклепочная сталь, канатная сталь, низколегированная сталь* общего назначения, *углеродистая сталь*), инструментальная (*режущая*

углеродистая, *легированная сталь* общего назначения, *быстрорежущая сталь, штамповая сталь*), а также сталь с особыми физ. и хим. св-вами (*жаропрочная сталь, жаростойкая сталь, коррозионностойкая сталь*). Различают Д. с. низко-, средне- и высоколегированную, среднепрочную, высокопрочную и сверхпрочную. Д. с. бывает ферритного (см. *Феррит*), перлитного (см. *Перлит* в металлведении), мартенситного (см. *Мартенсит*) и аустенитного (см. *Аустенит*) классов. Кроме того, различают Д. с. горяче- и холоднодеформированную. В горячедеформированной стали мех. св-ва формируются в процессе высокотемпературного пластического деформирования, в холоднодеформированной они изменяются после деформирования, а также в процессе естественного (см. *Старение материалов*) и мех. старения. С увеличением степени дефор-

Таблица 1. Химический состав деформируемых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %					
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Прочие
12ГС	0,09—0,15	0,80—1,20	0,50—0,80	0,30	0,30	0,30 Ni
25ХГСА	0,22—0,28	0,80—1,10	0,90—1,20	—	0,80—1,10	—
30ХГСА	0,28—0,34	0,80—1,10	0,90—1,20	—	0,80—1,10	—
12ХНЗА	0,09—0,15	0,30—0,60	0,17—0,37	2,75—3,15	0,60—0,90	—
40Х	0,36—0,44	0,50—0,80	0,17—0,37	—	0,8—1,1	—
40ХН	0,36—0,44	0,50—0,80	0,17—0,37	1,25—1,75	0,60—0,90	—
40ХНМ	0,36—0,44	0,50—0,80	0,17—0,37	1,25—1,75	0,60—0,90	0,15—0,25 Mo
10Г2	0,07—0,15	1,20—1,60	0,17—0,37	0,30	0,30	—
15ХГ	0,12—0,20	1,10—1,40	0,17—0,37	0,30	0,90—0,70	—
40ХГ	0,35—0,45	0,90—1,20	0,17—0,37	—	0,90—1,20	—
15ХФ	0,12—0,20	0,30—0,60	0,17—0,37	0,30	0,80—1,10	0,10—0,20 V
50ХФА	0,46—0,54	0,50—0,80	0,17—0,37	0,30	0,80—1,10	0,10—0,20 V
40ХГМ	0,37—0,45	0,90—1,20	0,17—0,37	0,30	0,90—1,20	0,20—0,30 Mo
18ХНВА	0,14—0,21	0,25—0,55	0,17—0,37	4,00—4,50	1,35—1,65	0,80—1,20 W
60С2	0,55—0,65	0,60—0,90	1,50—2,00	0,50	0,30	—
60СГ	0,55—0,65	0,80—1,00	1,30—1,80	0,30	0,30	—
60С2ХА	0,55—0,65	0,45—0,70	1,40—1,80	—	0,70—1,00	—
1Х13	0,15	0,60	0,60	0,60	12,0—14,0	—
Х17Н2	0,11—0,17	0,80	0,80	1,50—2,50	16,0—18,0	—
Х18Н9Т	0,12	2,00	0,80	8,00—11,00	17,00—20,00	—
Х18Н12В	0,10	2,00	1,00	9,00—13,00	17,00—20,00	0,80—1,50 Nb
Х23Н8	0,20	2,00	1,00	7,00—9,00	22,00—25,00	—
Х25Т	0,15	0,80	1,00	0,60	23,00—27,00	—
Х14Г14Н3Т	0,10	13,00—15,0	0,80	2,50—3,50	13,00—15,00	0,30—0,60 Ti

мации повышаются прочностные и снижаются пластические св-ва сталей (рис.). Угол загиба у многих углеродистых и низколегированных сталей минимален при деформации, равной 20—30%. В процессе выдержки холоднодеформированной стали св-ва изменяются с течением времени: увеличивается прочность, пони-

Таблица 2. Свойства деформируемых сталей

Марка стали	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	α_H , кгс·м/см ²
12ГС	68	50	24	50	8
25ХГСА	80	60	10	40	6
30ХГСА	110	85	10	45	5
12ХНЗА	85	70	10	50	8
40Х	100	80	9	50	9
40ХН	100	80	10	45	7
40ХНМ	100	85	12	55	10
10Г2	47	35	30	45	7
15ХГ	75	60	10	40	6
40ХГ	85	60	10	40	6
15ХФ	80	60	9	50	7
50ХФА	130	110	10	45	5
40ХГМ	100	80	10	45	9
18ХНВА	115	85	12	50	10
60С2	130	120	5	25	—
60СГ	130	120	5	25	—
60С2ХА	130	160	5	20	—
1Х13	75	55	12	55	8
Х17Н2	110	85	10	45	5
Х18Н9Т	64	42	28	60	11
Х18Н12В	55	20	40	55	10
Х23Н18	55	30	35	50	15
Х25Т	45	34	31	46	8
Х14Г14НЗТ	90	30	66	80	20

Примечание: Свойства после термической обработки.

жается пластичность и повышается склонность к хрупкому разрушению. Интенсивность старения возрастает с повышением т-ры от 100 до ~300° С.

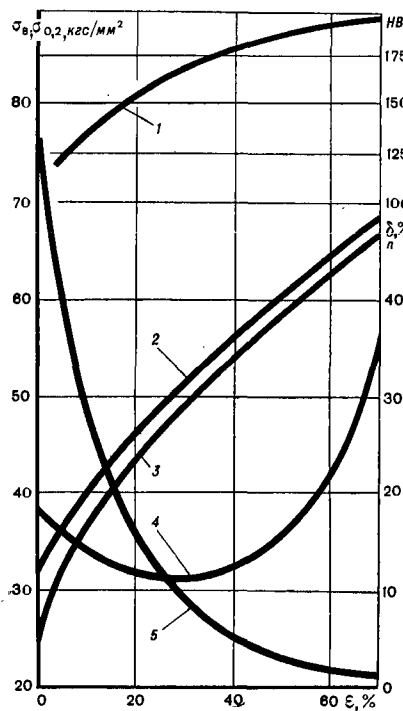
Зависимость твердости (1), предела на растяжение (2), условного предела текучести при растяжении (3), угла загиба (4) и пластичности (5) малоуглеродистой деформируемой стали марки 08кп от степени деформации.

Д. с. применяя в исходном состоянии, после отжига, старения, после заковки и отпуска, а также после более сложных режимов термической обработки. Чтобы получить заданную высокую твердость, цементуемые и инструментальные стали после заковки подвергают низкотемпературному отпуску. Сталь поставляется в виде листов, ленты, проволоки, труб и проката различного профиля. Из нее изготавливают различный инструмент и детали для узлов машин.

Лит.: Третьяков А. В., Трофимов Г. К., Зюзин В. И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М., 1964; Соколовский П. И. Малоуглеродистые и низколегированные стали. М., 1966; Журавлев В. Н., Николаева О. Н. Машиностроительные стали. Справочник. М., 1968; Третьяков А. В., Трофимов Г. К., Гурьянова М. К. Механические свойства сталей и сплавов при пластическом деформировании. Справочник. М., 1971.

О. С. Костырко.

ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ — свойство твердых материалов изменять форму или объем под действием мех. нагрузки, собственной массы, т-ры, намаг-



нчивания (магнитоострикционный эффект), электрического заряда (пьезоэлектрический эффект) и др. Форма и объем материала изменяются в результате взаимного смещения материальных элементов без нарушения сплошности, а Д. определяется уровнем упругих и остаточных деформаций при заданных внешних воздействиях. При упругом деформировании под Д. понимают способность материала к упругому изменению размеров и формы, характеризуя ее показателями *упругости* материала: модулем нормальной упругости (модулем Юнга), коэфф. Пуассона и др. При пластическом деформировании Д. отождествляют с *пластичностью*, характеризуя ее относительным удлинением, относительным сужением, относительной деформацией при осадке образца до появления первой трещины и др. (см. *Испытания материалов механические*). Д. зависит от хим. состава и структурного состояния материала, от температурно-силовых и кинематических характеристик процесса деформирования, от вида напряженного состояния материала. Высокой Д. отличаются чистые металлы и их твердые растворы. Снижают Д. труднорастворимые карбиды, усадочные неплотности, дендритная ликвация, различного рода примеси (сера, фосфор и др.) и газы, неметаллические включения по границам зерен. Металлы обладают наибольшей Д. в интервале между т-рой рекристаллизации и т-рой плавления. Способность пластически деформироваться снижается при т-рах фазовых превращений, пластичность некоторых металлов минимальна при т-рах, близких к абс. нулю. От т-ры зависит влияние скорости деформирования на деформируемость. Рост скорости деформирования снижает Д., если при заданной т-ре процессы упрочнения преобладают над процессами разупрочнения. Д. при динамических испытаниях иногда оценивают по удельной ударной вязкости, зависящей не только от степени деформации при разрушении, но и от сопротивления деформированию. Для оценки Д. при произвольной системе напряжений в заданных температурно-силовых условиях нагружения используют величину октаэдрического сдвига (сдви-

га в плоскости, равнонаклоненной к гл. осям)

$$\gamma_0 = \frac{2}{3} \times$$

$$\times \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2},$$

где ϵ_1 , ϵ_2 и ϵ_3 — деформации в направлении гл. осей. При дополнительном наложении сжимающих напряжений Д. увеличивается; однако эффекты «залечивания» микродефектов и задержки развития трещин начинают заметно проявляться лишь начиная с нек-рого критического (порогового) давления. Для железа, подвергнутого *отжигу* при т-ре 840° С, критическое давление равно 600 кгс/мм², для латуни — от 200 до 750, магния — от 800 до 1400, меди — от 1000 до 1600, *углеродистых сталей* — от 1400 до 1900, молибдена — от 2000 до 2200, хрома — 3000, для вольфрама — от 7000 до 7500 кгс/мм². Показательной характеристикой влияния вида напряженного состояния является параметр жесткости нагружения $I = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/\sigma_i$, где σ_i — интенсивность напряжений, равная с точностью до коэфф. октаэдрическому касательному напряжению. Алгебраически большим значениям параметра жесткости нагружения соответствуют более высокие показатели деформируемости. Д. используют при прокатке, ковке, волочении, штамповании и др. видах мех. обработки материалов. Данные о технологической Д. необходимы для расчета технологических операций, для определения нагрузки на оборудование. Однако оценка технологической Д. по показателям пластичности недостаточна. Так, если сопротивление деформированию материалов с одинаковой пластичностью неодинаково, то технологическая Д. больше у материала с меньшим сопротивлением деформированию. Следовательно, технологическая Д. должна характеризоваться комплексными показателями, включающими показатели пластичности и показатели сопротивления материала. Для каждого процесса обработки давлением характерна определенная схема напряженного состоя-

ния, поэтому методы определения технологической Д. применительно, напр., к оценке прокатываемости листового металла существенно отличаются от соответствующих методов оценки, напр., штампуемости. Чтобы получить сопоставимые результаты, октаэдрический сдвиг, как характеристику Д. при сложном (плоском или объемном) напряженном состоянии, приводят к чистому сдвигу делением на коэфф. приведения $n_{пр}$. Тогда выражение для показателя пластичности имеет вид $\gamma_{пр} = \gamma_i / n_{пр}$. Для кручения $n_{пр} = 1$. При прокатке прямоугольной полосы в цилиндрических валках $n_{пр} = 1 + fl/2h_{ср}$, где f — коэфф. трения; l — длина дуги захвата; $h_{ср}$ — средняя высота полосы. При осадке цилиндра между параллельными бойками $n_{пр} = 1 + fd/3h$, где d — диаметр цилиндра; h — высота цилиндра после осадки. Технологическую Д. часто определяют в условиях, имитирующих тот или иной процесс обработки давлением. Так, штампуемость оценивают испытанием листовых образцов на приборе Эриксона, деформируемость при горячей прокатке оценивают, применяя клиновидные образцы, прокатываемые в цилиндрических валках. Исчерпывающую информацию о Д. с учетом степени деформационного упрочнения дают кривые деформирования, установленные для заданного напряженного состояния экспериментально или рассчитанные методами теории пластичности. При степенном законе упрочнения компоненты девиаторов напряжений и пластических деформаций связаны соотношением $\sigma_{ij} = A \varepsilon_i^{m-1} \varepsilon_{ij}$, где A — константа материала; m — показатель упрочнения.

Лит.: Губкин С. И. Пластическая деформация металлов, т. 1. М., 1961; Смирнов-Аляев Г. А. Механические основы пластической обработки металлов. Л., 1968; Береснев Б. И. (и др.). Пластичность и прочность твердых тел при высоких давлениях. М., 1976.

А. А. Лебедев.

ДИАБАЗ (греч. διάβασις — переход, разлом) — палеотипная изверженная горная порода основного состава. Синоним — долерит — при-

родам того же состава, часто наряду с терминном диабаз. Разновидности: оливиновые диабазы, конгадитабазы (Д. с кварцем или микропегматитом), волыниты (диабазовый порфирит с крупными фенокристаллами плагиоклаза) и габброидиты. Минер. состав Д.: плагиоклазы — лабрадор, реже андезин; пироксены — авгит или энстатит-авгит, нередко бронзит; оливин, иногда биотит, обычные магнетит, титаномагнетит, ильменит и анатит, иногда пирит, пирротин и др. сульфиды. Часто в процессе вторичных изменений появляются альбит, амфиболы, эпидот, пренит, хлорит и карбонаты. В некоторых разновидностях встречаются кальцевый или калинатровый полевоы шпат, кварц, бурая роговая обманка и анальцим. Структура Д. офитовая, реже пойкилоофитовая, долеритовая; в диабазовых порфиритах — порфирровая, где вкрапленниками являются основной плагиоклаз и авгит. Средний хим. состав Д. (%): SiO_2 — 50,48; TiO_2 — 1,45; Al_2O_3 — 15,34; Fe_2O_3 — 3,84; FeO — 7,78; MnO — 0,20; MgO — 5,79; CaO — 8,94; Na_2O — 3,07; K_2O — 0,97; H_2O — 1,89; P_2O_5 — 0,25. Плотность Д. 2,79—3,30 г/см³; объемная масса 2,45—3,30 г/см³; пористость 0,24—10,60%; водопоглощение до 2,70%; предел прочности на сжатие воздушно-сухих образцов 200—4600 кгс/см²; предел прочности на удар (номер удара) 11—30; потери при истирании 2,80—5,13 г/см². Вязкость диабазового расплава при t -ре 1400°С составляет 15—400, при t -ре 1110°С равна 159 000 пз. Д. и долериты — производные базальтовой магмы. Они образуют интрузивные залежи и дайки, широко распространенные в горных областях и на платформах. Д. — материал для отделки частей сооружений, испытывающих ударные и истирающие нагрузки (цоколей зданий, ступеней, плит площадок и т. п.), для кислотоупорной футеровки, для изготовления щебня, буттового камня. Д. наряду с базальтами служит сырьем для кислотоупорного и износостойкого каменного литья и минеральной ваты.

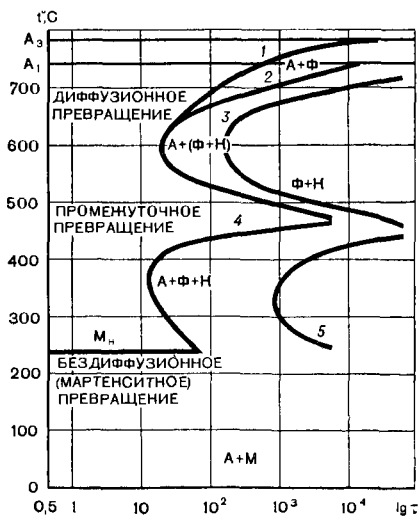
Лит.: Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., 1961; Коб-

а нова В. Н. Физические свойства горных пород. М., 1962; Дыков В. Ф. и др.]. Курс месторождений неметаллических полезных ископаемых. М., 1969; Пеликан А. Плавные камни. Пер. с чеш. М., 1959; Справочник физических констант горных пород. Пер. с англ. М. 1969.

Л. Г. Бернадская.

ДИАГРАММА ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ (греч. *διάγραμμα* — рисунок, чертёж; *ἵσος* — постоянный, *θερμῆς* — тепло) — диаграмма превращений переохлажденного аустенита при постоянной т-ре. По Д. и. судят об особенностях образующихся структур, к-рые определяют свойства стали после термической обработки. Впервые Д. и. построили в 1930 амер. исследователи Э. Давенпорт и Э. Бейн. Д. и. строят преим. в координатах «т-ра — время изотермической выдержки» (в логарифмическом масштабе), используя изотермический метод исследования. По этому методу тонкие образцы стали нагревают до аустенитного состояния, а затем быстро переохлаждают до некоторой т-ры ниже *критическ*

Диаграмма изотермическая превращения аустенита в доэвтектоидной легированной стали: A_3 — т-ра начала распада аустенита; A_1 — т-ра эвтектоидного превращения; 1 — начало образования феррита; 2 — начало образования ферритокарбидной смеси; 3 — конец образования ферритокарбидной смеси; 4 — начало промежуточного превращения; 5 — приостановка промежуточного превращения; M_n — начало бездиффузионного (мартенситного) превращения; A — аустенит; Φ — феррит; K — карбид; M — мартенсит.

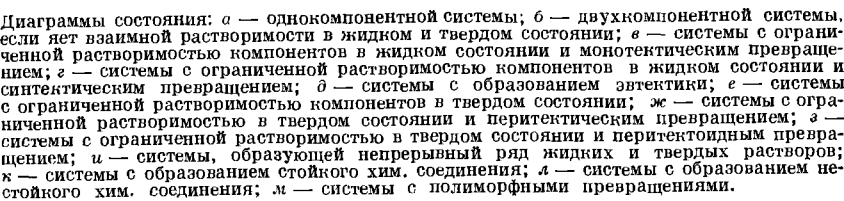


точек, при к-рой во время выдержки и происходит превращение аустенита. Эксперимент повторяют для различных т-р переохлаждения. Превращение исследуют с помощью *структурного анализа*, магнитометрического и дюрOMETрического анализов, *дилатометрического анализа*. В верхней и нижней частях Д. и. (рис.) ограничена горизонтальными линиями: верхние линии соответствуют критическим точкам A_3 (т-ра начала распада аустенита) и A_1 (т-ра эвтектоидного превращения), отделяющим область равновесного аустенита (выше точки A_1) от переохлажденного (ниже точки A_1); нижняя линия соответствует т-ре начала бездиффузионного (мартенситного) превращения M_n (см. *Мартенситные превращения*). Левее кривых начала распада находится переохлажденный аустенит. В зависимости от степени переохлаждения аустенита различают превращения диффузионное (см. *Диффузия*), промежуточное и бездиффузионное (мартенситное). Диффузионное превращение происходит в интервале т-р от A_1 до т-ры около 500°С. Продуктами диффузионного распада аустенита являются избыточные *феррит* или *карбиды*, а также ферритокарбидная смесь пластинчатого строения, дисперсность которой увеличивается с понижением т-ры превращения. При малой степени переохлаждения (высокой т-ре) образуется грубый *перлит*. Если степень переохлаждения становится большей, подвижность атомов углерода уменьшается и образуется более тонкий перлит — *сорбит*. При еще большем переохлаждении аустенита дисперсность смеси увеличивается — образуется *троостит*. С увеличением степени дисперсности ферритокарбидной смеси возрастают *твердость*, пределы *прочности* и *текучести* стали. Промежуточное превращение происходит при т-ре ниже диффузионного до начала бездиффузионного (мартенситного) превращения. Продуктом промежуточного превращения является ферритоцементитная смесь игольчатого строения — *бейнит*. В этом превращении сочетается диффузионное

перераспределение углерода в аустените с бездиффузионным превращением аустенита. Иногда это превращение может приостанавливаться. Бездиффузионное (мартенситное) превращение происходит ниже т-ры, соответствующей началу превращения переохлажденного аустенита в *мартенсит*. Такое превращение осуществляется при быстром охлаждении аустенита до т-ры, когда диффузионные процессы невозможны; происходит лишь переход кубической гранецентрированной решетки аустенита в кубическую объемноцентрированную решетку альфа-железа (мартенсита) без выделения углерода. Области т-р, в которых происходят превращения, подразделяют соответственно на перлитную, промежуточного превращения и мартенситную. В зависимости гл. обр. от хим. состава аустенита кинетика и интервалы т-р диффузионного, промежуточного и бездиффузионного (мартенситного) превращений могут изменяться в широких пределах. Чаще всего эти превращения происходят при различных т-рах, иногда же они могут протекать одновременно, придавая диаграмме иной внешний вид. Так, в углеродистых и некоторых легированных сталях интервалы т-р диффузионного и промежуточного превращения практически совпадают, вследствие чего выше мартенситной точки наблюдается один кинетический максимум. Поскольку в доэвтектоидной или заэвтектоидной стали до начала образования ферритокарбидной смеси может выделяться избыточный феррит или карбид, на диаграмме появляется дополнительная линия, характеризующая начало этого процесса. Д. и. используют при разработке режимов *отжига*, *изотермической закали* и *ступенчатой закали*, а также при *корректировании режимов отпуска* некоторых сталей. См. также *Диаграмма термокинетическая*.

Лит.: Попов А. А., Попова Л. Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. Справочник термиста. М., 1965; Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. М., 1972.

Л. Е. Попова



римость компонентов в жидком и твердом состоянии не наблюдается, Д. с. (рис., б) состоит из трех областей, отделенных друг от друга линиями CD и FG . Линия CD соответствует кристаллизации компонента A (при t_A) и наз. линией ликвидус (начала кристаллизации), линия FG (при t_B) соответствует кристаллизации более легкоплавкого компонента B и наз. линией солидус (конца кристаллизации). Если взаимная растворимость компонентов в жидком состоянии ограничена, в области DKF (рис., в) происходит расслоение однородного жидкого раствора на жидкие фазы \mathcal{H}_x и \mathcal{H}_y , обогащенные соответственно компонентами A и B . Фаза \mathcal{H}_y при t_M (линия DFH) претерпевает т. н. монотектическое превращение (см. *Монотектика*), распадаясь на жидкий раствор состава точки D и кристаллы компонента B , т. е. $\mathcal{H}_F \rightarrow \mathcal{H}_D + B_H$ (индексы обозначают точки диаграммы, к-рые соответствуют составам фаз, участвующих в превращении). При t_E (линия LEN) происходит еще одно превращение — эвтектическое (см. *Эвтектика*). Из жидкости состава точки E кристаллизуется эвтектика (механическая смесь кристаллов компонентов A и B), т. е. $\mathcal{H}_E \rightarrow (A + B)$. При расщеплении жидкости на две жидкие фазы разного хим. состава возможно и т. н. синтетическое превращение (см. *Синтектика*). Два жидких раствора разной концентрации, взаимодействуя друг с другом, при t_S (линия FLG , рис., г) образуют твердую фазу промежуточного состава, напр. неустойчивое хим. соединение (XC), состав к-рого соответствует точке L на неинвариантной горизонтали, т. е. $\mathcal{H}_F + \mathcal{H}_G \rightarrow (XC)_L$. Если компоненты полностью растворяются в жидком и не растворяются в твердом состоянии, при охлаждении в системе образуется эвтектика. На Д. с. (рис., д) ее образованию соответствует линия FEG (солидус), на к-рой из жидкости одновременно возникают две твердые фазы: $\mathcal{H}_E \rightarrow$

$(A + B)$. Линии CE и ED (ликвидус) изображают начало кристаллизации чистых компонентов соответственно A и B . Если компоненты ограниченно растворимы друг в друге в твердом состоянии, на Д. с. (рис., е) по сравнению с предыдущей добавляются области гомогенности альфа- и бета-твердых растворов на базе компонентов A и B , а также линии FH и GI предельной растворимости одного компонента в другом. Ниже этих линий из пересыщенной альфа-фазы или бета-фазы выделяется избыток второго компонента в виде т. н. вторичных кристаллов соответственно бета- или альфа-твердого раствора. В двойных системах с ограниченной взаимной растворимостью компонентов в твердом состоянии может происходить и т. н. перитектическое превращение (см. *Перитектика*). Жидкость и ранее выделившиеся из нее кристаллы (α), взаимодействуя друг с другом, при t_P (линия KMP , рис., ж) образуют новую твердую бета-фазу: $\mathcal{H}_P + \alpha_K \rightarrow \beta_M$. Одна из исходных фаз может быть в избыточном количестве и частично сохраниться после завершения перитектического превращения. В системе может происходить превращение, аналогичное перитектическому, но при взаимодействии двух твердых фаз, из к-рых образуется новая твердая фаза — т. н. перитектоидное превращение (см. *Перитектоид*), т. е. $\alpha_H + \beta_K \rightarrow \gamma_I$. На Д. с. это превращение соответствует t_P (линия HIK , рис., з). Образующаяся промежуточная *гамма-фаза* представляет собой твердый раствор на основе хим. соединения состава точки I . Д. с. системы, образующей непрерывный ряд жидких и твердых растворов (рис., и), наиболее проста и состоит из линий ликвидуса CLD и солидуса CMD . Структура любого сплава такой системы после кристаллизации — однофазная, состоящая из альфа-твердого раствора. В двойных системах часто образуются хим. соединения — как устойчивые, конгруэнтно плавящиеся, когда хим. составы твердой и жидкой фаз совпадают, так и неустойчивые, плавящиеся неконгруэнтно. Образование устойчивого хим. со-

двения при т-ре t_D (компоненты в твердом состоянии не растворяются друг в друге) изображается на диаграмме (рис., κ) линией $DKHM$. Хим. соединение является дополнительным, третьим компонентом. Такую систему можно подразделить на две подсистемы (компонент $A - X.C$, $X.C -$ компонент B), анализируя каждую из них отдельно. Неустойчивые хим. соединения могут образовываться в результате не только синтетического (см. рис., ε), но и перитектического (рис., λ) превращения. Если растворимость в твердом состоянии не наблюдается, жидкость и кристаллы компонента A , взаимодействуя друг с другом, при т-ре t_P (линия RSP , см. рис., λ) образуют неустойчивое хим. соединение, состав которого соответствует точке S , т. е. $Ж_P + A_R \rightarrow (X.C)$. Полиморфные превращения усложняют и разнообразят вид Д. с., к-рый зависит от взаимодействия полиморфных модификаций компонентов друг с другом. Верхняя часть таких диаграмм характеризует первичную кристаллизацию, нижняя — вторичную. В Д. с. системы, где высокотемпературные модификации компонентов (A_β и B_β) образуют бета-твердый раствор (рис., μ), а на базе низкотемпературных модификаций (A_α и B_α) образуются ограниченные твердые растворы α' и α'' , при т-ре t_E (линия MEN) происходит эвтектоидное превращение (см. *Эвтектоид*). Эта реакция подобна эвтектической, однако исходной фазой, превращающейся в мех. смесь двух твердых фаз, является не жидкость, а твердый раствор: $\beta_E \rightarrow (\alpha'_M + \alpha''_N)$. Реальные Д. с. двойных систем, как правило, представляют собой комбинации нескольких двойных диаграмм. Д. с. тройных и четверных систем более сложны, а пяти- и многокомпонентных — практически не исследованы. Д. с. изучают и строят гл. обр. экспериментально (см. *Физико-химический анализ*), с использованием *термического анализа*, *дилатометрического анализа*, *металлографического анализа*, *микрорентгеноспектрального анализа* и *резистометрического анализа*. Д. с. могут быть построены также теоретически методом расчета мини-

муму свободной энергии системы, исходя из термодинамических условий равновесия сосуществующих фаз. Для этого часто используют электронные вычислительные машины. Природу фаз, а также фазовый состав сплавов определяют с помощью *рентгеноструктурного анализа*, *электронографического анализа*. При построении Д. с. учитывают общие закономерности: правило отрезков (рычага), позволяющее определять равновесные концентрации фаз в двойной системе и их количественное содержание в сплаве; правило Мазинга о числе фаз в соприкасающихся фазовых областях, согласно к-рому непосредственно графичить в диаграмме могут лишь области, где число фаз отличается на единицу. С помощью Д. с. определяют т-ру плавления сплавов, выбирают т-ры горячей обработки давлением, устанавливают режимы *термической обработки* сплавов. Д. с. используют при создании сплавов с наперед заданными свойствами.

Лит.: Петров Д. А. Тройные системы. М., 1953; Вол А. Е. Строение и свойства двойных металлических систем, т. 1—2. М., 1959—62; Захаров А. М. Диаграммы состояний двойных и тройных систем. М., 1964; Захаров А. М. Диаграммы состояний четверных систем. М., 1964; Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов, т. 1—2. Пер. с англ. М., 1962; Эллиот Р. П. Структуры двойных сплавов, т. 1—2. Пер. с англ. М., 1970; Шанф. А. Структуры двойных сплавов. Пер. с англ. М., 1973. В. С. Черненко.

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО—УГЛЕРОД — диаграмма, описывающая равновесное состояние *железоуглеродистых сплавов* в зависимости от содержания углерода и т-ры. По ней судят о структуре медленно охлажденных сплавов, а также о возможности изменения *микроструктуры* в результате *термической обработки*, определяющей эксплуатационные св-ва сплавов. В системе железо — углерод образуются фазы (структурные составляющие): *жидкий раствор углерода в железе*; *феррит* — *твердый раствор углерода в альфа- или дельта-железе* с объемноцентрированной кубической решеткой; *аустенит* — *твердый раствор углерода в гамма-железе* с гра-

нецентрированной кубической решеткой; *графит* — полиморфная модификация углерода (см. *Полиморфизм*) с гексагональной слоистой решеткой; *цементит* — карбид железа с ромбической решеткой. Возможно образование *ледебурита*, *перлита*, а также смесей аустенита и графита, феррита и графита. В зависимости гл. обр. от состояния углерода и скорости охлаждения в сплавах возникают стабильные или метастабильные равновесия. Стабильные равновесия описывают стабильной диаграммой железо — графит, метастабильные — диаграммой железо — цементит. Поскольку обе диаграммы похожи, их изображают наложенными друг на друга (рис., табл.). В связи с тем, что образование графита связано со значительным перемещением атомов углерода и железа, *кристаллизация* сплавов согласно диаграмме железо — графит возможна лишь в условиях медленного охлаждения. Уже при скорости охлаждения 1—10 град/мин в сплавах реализуются метастабильные фазовые равновесия в соответствии с диаграммой железо — цементит. Кристаллизация

сплавов, содержащих до 0,51% С, начинается на линии *AB* выделением из расплава кристаллов дельта-феррита и проходит до конца (до полного исчезновения жидкого раствора) только у сплавов, содержащих 0,1% С или меньше. В интервале 0,1—0,51% С при $t_{ре}$ 1493° С происходит перитектическое превращение (см. *Перитектика*) — образование новой твердой фазы (аустенита) в результате взаимодействия жидкого раствора и феррита: $J_B + \Phi_H \rightarrow A_J$ (индексы обозначают точки диаграммы, которые соответствуют составам фаз, или структурных составляющих, участвующих в превращении). При дальнейшем охлаждении сплавов, содержащих не более 0,3% С, в области *HJN* происходит полиморфное превращение дельта-железа в гамма-железо, в результате которого образуется аустенит. Сплавы, содержащие 0,51—4,3% С, начинают кристаллизоваться, образуя из жидкости кристаллы аустенита (линия *BC*). Образованием аустенита завершается первичная кристаллизация сплавов, содержащих менее 2,06% С (линия *JE*). Таким образом, в области, ограниченной сверху линиями *NJ* и *JE*, а в

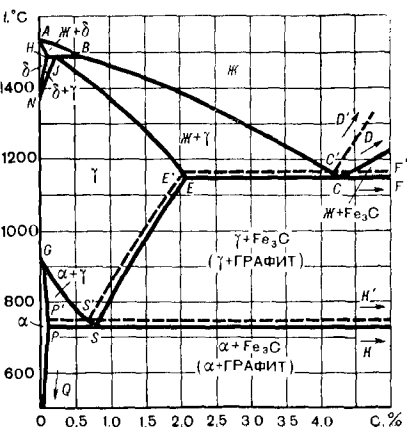
Координаты точек диаграмм железо — графит и железо — цементит

Точка	Содержание углерода, %	Температура, °С	Характерная особенность
<i>A</i>	0	1536	Т-ра кристаллизации железа
<i>B</i>	0,51	1493	—
<i>C (C')</i>	4,3 (4,25)	1147 (1153)	Эвтектическая точка
<i>D</i>	6,67	1600	Т-ра кристаллизации цементита
<i>E (E')</i>	2,06 (2,03)	1147 (1153)	Предел растворимости углерода в гамма-железе при эвтектической $t_{ре}$
<i>F (F')</i>	6,67	1147 (1153)	—
<i>G</i>	0	911	Т-ра первого полиморфного превращения в железе
<i>H</i>	0,1	1493	Предел растворимости углерода в высоко температурном дельта-железе
<i>J</i>	0,16	1493	Перитектическая точка
<i>K (K')</i>	6,67	723 (738)	—
<i>N</i>	0	1400	Т-ра второго полиморфного превращения в железе
<i>P (P')</i>	0,02 (0,02)	723 (738)	Предел растворимости углерода в альфа-железе при эвтектоидной $t_{ре}$
<i>Q</i>	0,006	20	—
<i>S (S')</i>	0,8 (0,69)	723 (738)	Эвтектоидная точка

Примечание: Обозначения и цифры в скобках относятся к стабильной диаграмме железо — графит.

нижней части линии GS и SE , все сплавы являются однофазными с аустенитной структурой. При охлаждении ниже $t\text{-ры } 911^\circ\text{C}$ в сплавах, содержащих менее $0,8\%$ C (т. н. доэвтектоидных сталях), на линии GS начинается полиморфное превращение гамма-железа в альфа-железо. Изменяется концентрация углерода как в выделившемся альфа-железе (линия GP), так и в остающемся аустените (линия GS). При достижении $t\text{-ры } 723^\circ\text{C}$ (линия PK) концентрация углерода в феррите характеризуется точкой P , а в аустените — точкой S . Если сталь охлаждать ниже $t\text{-ры } 723^\circ\text{C}$, происходит распад аустенита состава точки S по эвтектоидной реакции (см. *Эвтектоид*) на мех. смесь феррита и цемента (перлит): $A_S \rightarrow \Phi_P + \Pi$. Ниже $t\text{-ры } 723^\circ\text{C}$ из феррита (линия PQ) выделяется избыточный углерод в виде т. н. третичного цемента. Он, как правило, не образует самостоятельной структурной составляющей (за исключением *технически чистого железа*), а, согласно принципу ориентационного и структурного соответствия, кристаллизуется на участках цемента, входящих в состав перлита. Поэтому структурные измене-

Диаграмма состояния железо — углерод: штриховые линии — диаграмма железо — графит; сплошные линии — диаграмма железо — цементит; J — жидкий раствор углерода в железе; δ — твердый раствор углерода в дельта-железе; γ — твердый раствор углерода в гамма-железе; α — твердый раствор углерода в альфа-железе; Fe_3C — карбид железа.



ния в сплавах при $t\text{-ре}$ ниже 723°C несущественны. При комнатной $t\text{-ре}$ структура доэвтектоидной стали состоит из избыточного феррита, выделившегося из аустенита между линиями GS и PS , и перлита, который образовался при эвтектоидном превращении. С увеличением содержания углерода возрастает количество перлитной и уменьшается количество ферритной составляющей. В эвтектоидных сталях (около $0,8\%$ C) весь аустенит превращается в перлит. В т. н. заэвтектоидных сталях (более $0,8\%$ C) вследствие понижения растворимости углерода в гамма-железе (линия ES) из аустенита выделяется вторичный цементит. При $t\text{-ре } 723^\circ\text{C}$ происходит эвтектоидное превращение. В результате этого превращения сталь приобретает структуру, состоящую из зерен перлита и сетки вторичного цемента. Толщина сетки возрастает с увеличением содержания углерода. В сплавах, содержащих $2,06\text{—}4,3\%$ C (доэвтектоидные чугуны), после выделения из жидкого раствора аустенита при $t\text{-ре } 1147^\circ\text{C}$ (линия ECF) происходит эвтектическое превращение (см. *Эвтектика*) $J_C \rightarrow A_E + \Pi$, образуется механическая смесь аустенита и цемента — ледобурит. В соответствии с линией ES диаграммы из аустенита выделяется избыточный углерод в виде вторичного цемента, а при $t\text{-ре } 723^\circ\text{C}$ аустенит превращается в перлит. Т. о., структура доэвтектического чугуна при комнатной $t\text{-ре}$ состоит из перлита и ледобурита. При кристаллизации эвтектического чугуна (около $4,3\%$ C) весь жидкий раствор превращается в ледобурит. В заэвтектических чугунах ($4,3\text{—}6,67\%$ C) из расплава в области CDF кристаллизуется первичный цементит, структура их состоит из ледобурита и первичного цемента. Выше $t\text{-ры } 723^\circ\text{C}$ ледобурит представляет собой эвтектическую смесь аустенита и цемента, причем состав аустенита в зависимости от $t\text{-ры}$ описывается линией SE . Ниже $t\text{-ры } 723^\circ\text{C}$ ледобурит является эвтектической смесью перлита эвтектоидного состава и цемента. Кристаллизация сплавов желе-

зо — графит согласно диаграмме происходит аналогично, однако в состав эвтектики и эвтектоида входит не метастабильный цементит, а стабильная фаза — графит. Графит выделяется также в свободном состоянии из жидкости (линия $C'D'$) и аустенита (линия $E'S'$). Структура *серых чугунов* (сплавов железо — графит), кроме металлической основы, содержит многочисленные графитные включения (см. *Графита включения*), существенно влияющие на свойства сплавов. Д. с. железо — углерод используют при разработке режимов термообработки сталей и чугунов.

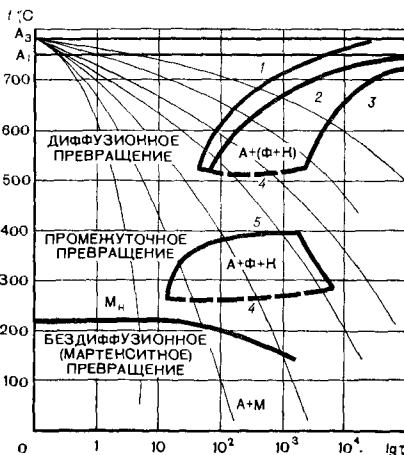
Лит.: Вол А. Е. Строение и свойства двойных металлических систем, т. 2. М., 1962; Бунин К. П., Баранов А. А. Металлография. М., 1970; Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов, т. 1. Пер. с англ. М., 1962; Тиркель Е. История развития диаграммы железо — углерод. Пер. с польск. М., 1968; Металлография железа, т. 1. Пер. с англ. М., 1972.

В. С. Черненко.

ДИАГРАММА ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКАЯ (от греч. $\theta\epsilon\rho\mu\eta$ — тепло и $\kappa\iota\nu\eta\tau\acute{o}\varsigma$ — движущийся) — диаграмма превращений непрерывно охлаждаемого аустенита с изменением т-ры. По Д. т. судят о влиянии скорости охлаждения на т-ру распада аустенита, о морфологии и количестве структурных составляющих, что определяет свойства стали после *термической обработки*. Д. т. строят преим. в координатах «т-ра — время» (в логарифмическом масштабе), пользуясь термокинетическим методом исследования. По этому методу образцы стали нагревают до аустенитного состояния, охлаждают с разной скоростью и определяют т-ру начала и конца превращения, используя *термический анализ*, *микроструктурный* и *магнитный анализ*, *дilatометрический анализ*. На диаграмму наносят кривые скоростей охлаждения, отмечая т-ру начала и конца превращения, а также выделяя области одинаковых превращений. В верхней и нижней частях Д. т. (рис.) ограничена горизонтальными линиями: верхние линии соответствуют *критическим точкам* A_3 (т-ра начала распада аустенита) и A_1 (т-ра эвтектоидного превращения), отде-

ляющим область равновесного аустенита (выше точки A_1) от переохлажденного (ниже точки A_1); нижняя линия соответствует т-ре начала бездиффузионного (мартенситного) превращения M_n (см. *Мартенситные превращения*). Левее кривых начала распада находится переохлажденный аустенит. В зависимости от степени переохлаждения аустенита различают превращения диффузионное (см. *Диффузия*), промежуточное и бездиффузионное (мартенситное). Диффузионное превращение происходит в интервале т-р от A_1 до т-ры около 500°С. Продуктами диффузионного распада аустенита являются избыточные феррит или карбиды, а также ферритокарбидная смесь пластинчатого строения, дисперсность к-рой увеличивается с понижением т-ры превращения. При малой степени переохлаждения (высокой т-ре) образуется грубый перлит. Если степень переохлаждения становится большей, подвижность атомов углерода уменьшается и образуется более тонкий перлит — сорбит. При еще большем переохлаждении аусте-

Диаграмма термокинетическая превращений аустенита в легированной стали: A_3 — т-ра начала распада аустенита; A_1 — т-ра эвтектоидного превращения; 1 — начало выделения феррита; 2 — начало образования ферритокарбидной смеси; 3 — конец образования ферритокарбидной смеси; 4 — линия приостановки превращения; 5 — начало промежуточного превращения; M_n — начало бездиффузионного (мартенситного) превращения; А — аустенит; Ф — феррит; К — карбид; М — мартенсит.



иита дисперсность смеси увеличивается — образуется *троостит*. С увеличением степени дисперсности ферритокарбидной смеси возрастают *твердость*, пределы *прочности* и *текучести* стали. Если охлаждение происходит с большими скоростями, для диффузионного превращения может не хватить времени. Это обстоятельство отражается на Д. т. линиями приостановки превращения. Промежуточное превращение происходит при т-ре ниже диффузионного до начала бездиффузионного (мартенситного) превращения. Продуктом промежуточного превращения является ферритоцементитная смесь игольчатого строения — *бейнит*. В этом превращении сочетается диффузионное перераспределение углерода в аустените с бездиффузионным превращением аустенита. Бездиффузионное (мартенситное) превращение происходит ниже т-ры, соответствующей началу превращения переохлажденного аустенита в *мартенсит*. Такое превращение осуществляется при быстром охлаждении аустенита до т-ры, при к-рой диффузионные процессы невозможны, т. е. когда кубическая гранцентрированная решетка аустенита перестраивается в кубическую объемноцентрированную решетку альфа-железа (мартенсита) без выделения углерода. Области т-р, в к-рых происходят превращения, подразделяют соответственно на перлитную, промежуточного превращения и мартенситную. В зависимости от хим. состава аустенита, величины зерна и т-ры нагрева кинетика и интервалы т-р диффузионного, промежуточного и бездиффузионного (мартенситного) превращений могут измениться в широких пределах, придавая диаграмме иной внешний вид.

Термокинетическая диаграмма по сравнению с *диаграммой изотермической* более подробно отражает процессы, происходящие во время термической обработки стали. Д. т. используются для разработки режимов *закалки*, *отжига* и *нормализации*.

Лит.: Романов П. В., Радченко Р. П. Превращения аустенита при непрерывном охлаждении стали. Атлас термокинетических диаграмм. Новосибирск, 1960; Попов А. А., Попова Л. Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. Справочник термиста. М., 1965; Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. М., 1972.

Л. Е. Попова.

ДИАМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (от греч. διά — через, сквозь), *диамагнетики* — материалы, приобретающие во внешнем магнитном поле магнитный момент, направленный против намагничивающего поля. Если внешнего магн. поля нет, магн. момент Д. м. равен нулю. Диамагнетизм присущ всем без исключения материалам, но иногда он перекрывается парамагнетизмом и ферромагнетизмом в *парамагнитных материалах* и *магнитных материалах*. Д. м. отличаются малой отрицательной магнитной *проницаемостью*, величина которой не зависит от напряженности внешнего магн. поля. К Д. м. относятся *электроизоляционные материалы* (напр., водород, инертные газы, каменная соль), *керамические материалы*, *полупроводниковые материалы* и *электропроводные материалы* (кремний, германий, висмут, галлий, сурьма, графит, медь, цинк, серебро, золото и др.) (табл.). В некоторых материалах (напр., графите, висмуте, сурьме) и

Удельная магнитная восприимчивость диамагнитных материалов

Материал	$\chi_m \cdot 10^9$	Материал	$\chi_m \cdot 10^9$	Материал	$\chi_m \cdot 10^9$
Азот	-0,62	Кремний	-0,112	Карбид циркония	-0,285
Алмаз	-0,492	Медь	-0,86	Карбид гафния	-0,2
Водород	-1,99	Серебро	-0,181	Карбид кремния	-0,315
Галлий	-0,31	Фтористый литий	-0,39	Дисилицид молибдена	-0,24
Германий	-0,1047	Хлористый натрий	-0,5	Окись алюминия	-0,093
Золото	-0,17	Цинк	-0,175	Окись лантана	-0,23

сплавах (в *гамма-фазах*) обнаружен большой резко анизотропный диамагнетизм, связанный, по-видимому, с возникновением при наличии магн. поля замкнутых электронных орбит, охватывающих много атомов. Изучение Д. м. позволяет решать некоторые вопросы хим. связи в твердом теле. По данным диамагн. циклотронного резонанса можно непосредственно определять величину эффективной массы носителей тока, что имеет большое значение для развития теории полупроводников и металлов. Кроме того, некоторые Д. м. (напр., флюорит, вольфрамат кальция, окись алюминия) используют в качестве кристаллов-разбавителей парамагн. ионов в квантовых усилителях и генераторах.

Лит.: Дорфман Я. Г. Диамагнетизм и химическая связь. М., 1961; Бонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971. Т. В. Андреева.

ДИАТОМИТ (от греч. *διατομή* — разделение, раскол) — легкая рыхлая или слабо сцементированная осадочная горная порода, состоящая преим. из микроскопических кремнистых панцирей одноклеточных диатомовых водорослей. Синонимы: диатомовая земля, инфузорная земля, горная мука, кизельгур. В различных количествах в Д. содержатся примеси карбонатного и глинистого вещества, а также зерен кварца, полевых шпатов, глауконита и др. минералов. Панцири диатомей, представляющие собой полые опаловые тельца (величиной 0,03—0,15 мм), придают породе легкость и значительную пористость (до 70—92%). Количество целых панцирей диатомей в 1 см³ породы — от 1,7—3,5 до 17—30 млн. Хим. состав Д. (%): SiO₂ — 55,0—95,0; Al₂O₃ — 1,0—10,5; Fe₂O₃ + FeO — 0,2—10,0; CaO + MgO — 0,2—4,0. Плотность от 1,0 до 2,2 г/см³; объемная масса в сухом состоянии от 0,350 до 0,960—1,250 г/см³ (зависит гл. обр. от количества глинистых примесей и целых панцирей). Цвет Д. — белый, светло-серый или желтовато-белый и зеленовато-серый. Т-ра плавления 1150—1600° С. При вторичных изменениях Д. переходит в *трепел* и *опоку*, по-

этому большинство его месторождений находятся вместе с месторождениями трещелов и опок. По условиям образования различают Д. континентального происхождения, образовавшиеся в условиях послеледниковых озер и озер вулканического происхождения, и Д. морского происхождения, образовавшиеся в условиях эноконтинентальных и геосинклинальных бассейнов. Месторождения Д., связанные с ледниковыми отложениями, обычно загрязнены органической примесью и залегают среди торфяников. Озерный Д. областного развития молодой вулканической деятельности залегает совместно с *туфами* и лавовыми покровами. Такой Д. отличается высоким качеством, т. е. большим количеством целых панцирей диатомей. Но запасы его невелики. Залежи Д. неогенового возраста — незначительной мощности, часто загрязнены *глиной* и карбонатным веществом. Д. палеогенового возраста образует крупные залежи значительной мощности и содержит большое количество целых панцирей диатомей. Наиболее крупные потребители Д., а также трещелов и опок — цементная и строительная пром-сть, где их используют в качестве гидравлических *добавок* при произ-ве *цемента* и в качестве *наполнителей* при изготовлении *легкого бетона*. В произ-ве термоизоляторов применяют Д. и трещел с высокой степенью пористости (объемная масса не выше 0,6 г/см³). В хим. пром-сти Д. используют в произ-ве красок, пластических масс, резины, бумаги, а также в качестве адсорбента; в пищевой и нефтяной пром-сти — для очистки сахарных сиропов, фруктовых соков, масел и др. хим. продуктов. Кроме того, Д. применяют для изготовления динамита, улавливания радиоактивных веществ из воды, а также очистки пром. сточных и жестких вод. Тонкомолотый Д. представляет собой мягкий абразивный и полировальный материал.

Лит.: Бушинский Г. И. Кремнистые породы. В кн.: Справочное руководство по петрографии осадочных пород, т. 2. Л., 1958; Требования промышленности к качеству минерального сырья. Справочник для геологов, в. 21. Григорович М. Б. Диатомит, трепел, опока. М., 1962; Дистанов У. Г. [и др.] Кремнистые породы (диатомиты, опок,

Д. Н. Коваленко.
ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (от лат. dilato — расширяю и греч. метрῶ — измеряю) — анализ физических и физико-химических св-в материала, основанный на изучении изменения его объема или размеров.

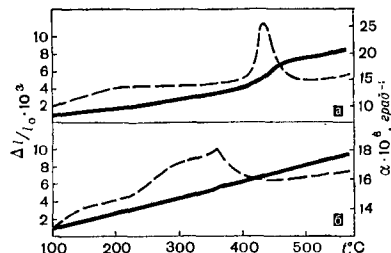
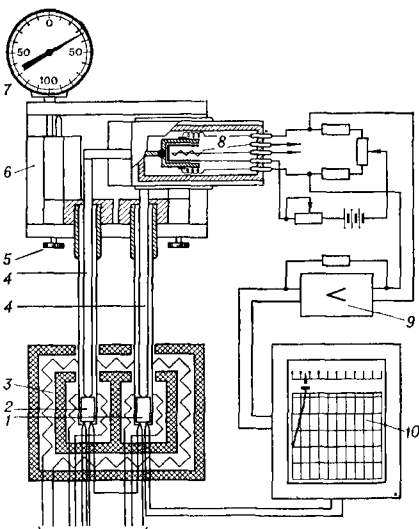


Рис. 1. Используемая при дилатометрическом анализе зависимость линейных размеров (сплошная линия) и температурного коэффициента расширения (штриховая линия) от температуры: а — кобальта; б — никеля.

Рис. 2. Схема автоматического дифференциального сканирующего дилатометра, используемого при дилатометрическом анализе: 1 — исследуемый образец материала; 2 — эталонный образец материала; 3 — термостат; 4 — толкатель; 5 — микрометрический винт; 6 — дифференциальный механизм; 7 — индикатор; 8 — электронно-механический датчик малых перемещений; 9 — дифференциатор медленно изменяющихся сигналов; 10 — электронный автоматический регистрирующий потенциометр.



Первые точные дилатометрические измерения провел в 1863 франц. физик И. Физо. При Д. а. используют св-во материала в твердом, жидком или газообразном состоянии изменить объем или размеры вследствие внешнего воздействия или внутренних превращений. Если св-ва материала изотропны (см. *Изотропия*), изменение линейных размеров характеризует и изменение объема. Д. а. наиболее широко используется для изучения теплового расширения. Изменение объема нагреваемого материала характеризуют величиной температурного коэфф. объемного расширения

$$\beta = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{dT},$$

где β — температурный коэфф. объемного расширения; V_0 — исходный объем материала; V — объем нагретого материала; T — т-ра. Изменения объема и температурного коэфф. объемного расширения являются неотъемлемой характеристикой процессов, связанных с нарушением термодинамического равновесия системы или приближением ее к этому состоянию. Так, фазовые переходы первого рода (процессы *плавления, кристаллизации, распада пересыщенных твердых растворов, полиморфные превращения*) сопровождаются скачкообразным изменением объема (объемным эффектом) и температурного коэфф. расширения (рис. 1, а). При фазовых переходах второго рода (переходе металлов в сверхпроводящее состояние, ферромагнетиков или антиферромагнетиков в парамагнетики, сегнетоэлектриков в диэлектрики) объемный эффект не наблюдается, однако отмечается характерное изменение температурного коэфф. расширения (рис. 1, б). Это позволяет идентифицировать с помощью Д. а. различные процессы в материалах. Достаточно точное математическое выражение зависимости температурного коэфф. расширения от т-ры известно только для совершенных кристаллов кубической симметрии, в связи с чем при Д. а. используют в осп. экспериментальные данные. Для определения линейных размеров

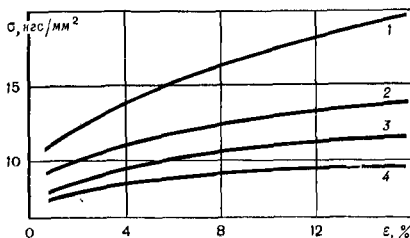
применяют линейные dilatометры, объема — объемные dilatометры. Точность измерения объема ниже точности определения линейных размеров; непосредственное измерение объема осуществляют преим. при исследовании материалов в жидком и газообразном состоянии, а также при анизотропности расширения (см. *Анизотропия*). Наиболее распространены dilatометры оптико-механические (чувствительностью 10^{-6} — 10^{-7} см), интерференционные ($\sim 10^{-8}$ см), электронные с индукционными и емкостными датчиками ($\sim 10^{-9}$ см), с электронно-механическими, электронно-магнитными, гальваномагнитными и магнитострикционными датчиками ($\sim 10^{-7}$ см). Для спец. исследований применяют dilatометры, в к-рых использована дифракция рентгеновских лучей ($\sim 10^{-5}$ — 10^{-6} см), и радиорезонансные dilatометры ($\sim 10^{-12}$ см). При Д. а. осуществляют как абсолютные измерения (по отношению к эталону, размеры к-рого принимаются неизменными), так и дифференциальные (по отношению к эталону, подвергающемуся идентичному с измеряемым образцом воздействию). За единицу измерения принимают, напр., длину эталонного образца, деления масштабной линейки, окуляр-микрометра, длину волны монохроматического света. Достоинства Д. а. — высокая чувствительность, достигающая 10^{-12} см; возможность использования большого числа способов измерения; универсальность и несложность применения для исследования различных материалов. Результаты dilatометрических измерений представляют в виде зависимости изменения объема или размеров от т-ры или времени. Температурный коэфф. расширения или скорость протекания процесса определяют аналитическим или графическим дифференцированием, что является одним из наиболее трудоемких этапов анализа. Сложно также учитывать погрешности, связанные, напр., с тепловым расширением деталей dilatометра, неточностью поддержания т-ры. Созданы dilatомет-

ры для измерения и дифференциальных измерений, в к-рых автоматизированы процессы поддержания режима эксперимента, вычисления температурного коэфф. расширения, введения поправок в измеряемую величину, регистрации результатов (рис. 2 на с. 361). Д. а. применяют для определения истинных и средних температурных коэфф. линейного и объемного расширения различных материалов, их критических точек, фазового состава, для оценки структурного состояния, контроля скорости и различных стадий протекания процессов. См. также *Волюмометрический анализ*.

Лит.: Ларионов Л. Н., Черепин В. Т., Гуревич М. Е. Автоматизация контроля и исследования металлов. К., 1971; Аматауни А. Н. Методы и приборы для определения температурных коэффициентов линейного расширения материалов. М., 1972; Новикова С. И. Тепловое расширение твердых тел. М., 1974. М. Е. Гуревич.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ (от греч. δύναμις — сила) — характеристика сопротивления материала деформированию или разрушению при динамической нагрузке. Различают Д. п. при многократной циклической нагрузке (см. *Усталость материалов*) и Д. п. при однократной нагрузке. Динамическое сопротивление материала деформированию при одноосном напряженном состоянии определяется кривой деформации (рис.), соответствующей большим (по сравнению со статическими) скоростям роста деформации (или нагрузки). Аналогично кратковременной статической прочности Д. п. характеризуется динамическим пределом текучести, пределом прочности и др.

Зависимость напряжения (характеристики динамической прочности) от деформации чистого алюминия (кривые сжатия) при скорости деформирования 10^4 сек^{-1} (1), 10^3 сек^{-1} (2), 10^2 сек^{-1} (3) и 10 сек^{-1} (4).



В общем случае изменения сопротивления деформации $\sigma(t)$ определяется процессом изменения деформации $\epsilon(t)$ в процессе испытания материала. Следовательно, кривая деформации $\sigma(\epsilon)$ характеризует только тот закон нагружения, к-рый реализуется в процессе испытания. Обобщение экспериментальных данных, полученных при испытаниях с различными законами нагружения в ограниченном диапазоне изменения переменных, характеризующих это нагружение, обычно осуществляют в виде связи трех таких переменных (σ, ϵ_p, t) ($\sigma, \epsilon_p, \dot{\epsilon}$) или ($\sigma, \dot{\epsilon}_p, t$), к-рые в трехмерном пространстве изображаются соответствующими поверхностями нагружения (ϵ_p — пластическая деформация; $\dot{\epsilon}$ — скорость деформации). Общая связь напряжений и деформаций в линейном вязко-упругом материале имеет вид дифференциального уравнения

$$\sum_{n=0}^k a_n \sigma^{(n)}(t) = \sum_{n=0}^l b_n \epsilon^{(n)}(t),$$

используемого для описания сложного реологического поведения под нагрузкой мн. материалов. Характеристики прочности при повышенных скоростях деформирования определяют, используя пневмо-гидравлические нагружающие устройства. Действие ударов и взрывов используют для деформирования с большими скоростями. Если скорость деформирования меньше 10^4 сек^{-1} , кривую

деформации определяют в квазистатических испытаниях (обеспечивающих однородное напряженное состояние по объему рабочей части образца, как в статических испытаниях) с сохранением чаще всего этой скорости почти постоянной. При больших скоростях деформирования (до 10^6 сек^{-1}), наблюдающихся в процессе сжатия материала на фронте интенсивных ударных волн, кривую деформации определяют, анализируя неоднородное напряженное состояние материала в волне нагрузки, регистрируемой с высокой разрешающей способностью по времени (до десятых, а иногда до сотых микро-секунды). Влияние сложного напряженного состояния материала, высокого уровня среднего (гидростатического) давления, изменения т-ры в волне определяют обработкой и обобщением (используя теорию распространения упруго-пластических волн) результатов экспериментов. С увеличением скорости деформирования сопротивление металлов монотонно возрастает и соответственно повышаются характеристики Д. п. (табл.) — предел текучести, предел прочности и работа пластической деформации.

Влияние скорости деформирования невелико для высокопрочных материалов и увеличивается с уменьшением их прочности. Прочность при кратковременной (порядка 10^{-3} сек)

Динамический и статический пределы текучести; характеризующие динамическую прочность материалов

Материал	P , кгс/мм ²	$\sigma_{т.д.}$, кгс/мм ²	$\sigma_{т.с.}$, кгс/мм ²	$\frac{\sigma_{т.д.}}{\sigma_{т.с.}}$	h , мм
Армко-железо	116,5	73,5	15	4,90	60
Сталь 3	149	94	21	4,48	60
	116	73	21	3,48	90
Сталь марки 40Х, отожженная	196	123,5	42	2,94	90
Сталь марки 30ХГСА, отожженная	209	132	47	2,81	60
Сталь марки 40Х, закаленная	264	166	82	2,03	80
Сталь марки 30ХГСА, закаленная	299	188	145	1,30	60

П р и м е ч а н и е: P — давление на фронте упругого предвестника; h — расстояние от поверхности нагружения до поверхности, на к-рой регистрировался профиль ударной волны; динамический предел текучести ($\sigma_{т.д.}$) определен по амплитуде упругого предвестника плоской ударной волны, возбуждаемой взрывом ($\dot{\epsilon} \approx 10^6 \text{ сек}^{-1}$).

динамической нагрузке ударного характера часто наз. *ударной прочностью*.

Лит.: Орленко Л. П. Поведение материалов при интенсивных динамических нагрузках. М., 1964; Волошенко-Климовицкий Ю. А. Динамический предел текучести. М., 1965.

Г. В. Степанов.

ДИНАС [от назв. скалы Динас (Craig-y-Dinas) в Уэльсе (Великобритания)] — материал, состоящий в основном (не менее 93%) из кремнезема; один из важнейших *огнеупорных материалов*. Характеризуется достаточной прочностью, малым коэфф. термического расширения при высокой т-ре (более 700° С), дополнительным ростом и низкой термостойкостью в интервале т-р 20—700° С. Плотность его 2,3—2,5 г/см³, огнеупорность 1690—1730° С (обуславливается хим. составом), т-ра начала деформации под нагрузкой 2 кгс/см² составляет 1620—1680° С. Изготавливают Д. из кварцитов (цементных и кристаллических), кварца и других кремнеземистых пород, содержащих не менее 95% SiO₂ и имеющих огнеупорность не ниже 1750° С. В качестве добавок, способствующих при обжиге превращению кварца в тридимит (высокотемпературную модификацию кремнезема), используют 0,2—2,5% Са (ОН)₂ (известковое молоко), иногда в смеси с 0,5—1,5% железистых веществ (*окалин*, сварочных шлаков, колошниковой пыли). В сырьевую массу вводят также клеящую добавку — сульфитно-спиртовую барду (1,3%), для уменьшения во время обжига роста изделий добавляют обожженный динасовый бой (около 25%). Получение изделий из Д. заключается в измельчении сырья до частиц размером менее 3 мм, приготовления смеси, формировании полуфабрикатов, их сушке и обжиге при т-ре 1420—1460° С, во время которого происходит *перекристаллизация* кварца в тридимит, которому присущи миним. объемные изменения. Перекристаллизация способствует известково-железисто-кремнеземистый расплав, образующийся в смеси, содержащей кремнезем, окись кальция и окись железа. Расплав частично растворяет кварц,

термодинамически нестабильный при т-ре обжига, снижает напряжения, возникающие при различных превращениях кварца, связывает кристаллические частицы и заполняет образующиеся трещины. К спец. видам Д. относятся динасохромит, динасоциркон и динасокарборунд. Для повышения шлакоустойчивости в состав динасохромита вводят *хромит* (около 15%), содержащий более 50% окиси хрома. Прессуют динасохромит при давлении 250—400 кгс/см², обжигают при т-ре 1425—1430° С. Динасохромитовые изделия применяют для кладки головок и перекрытий (со стороны дверей) камер коксования коксовых печей, для стеновой и сводовой кладки печей с рабочей т-рой 1450—1500° С. Динасоциркон содержит 30% *кварцевого стекла* и 70% циркона. Температура его обжига 1460° С. Температура начала деформации под нагрузкой 2 кгс/см² составляет 1730° С. Динасоциркон используют для футеровки сталеплавильных печей и печей для плавки фосфатов. Динасокарборунд содержит 20—30% *карборунда*, отличается повышенным модулем сдвига, *эрозивной стойкостью*, термостойкостью и *теплопроводностью*. Изготавливают также легковесный Д. (с открытой пористостью выше 50%), вводя в шихту коксик, антрацит и др. выгорающие добавки (30—35%). Динасовые огнеупоры используют при сооружении мартеновских, коксовых, стекловаренных и др. печей. Динасовые бетоны и набивные массы применяют для изготовления блоков и монолитных футеровок, эксплуатируемых при т-ре 1340—1400° С. В качестве добавок в бетоны и набивные массы вводят борную кислоту (1—2%), *растворимое стекло* (5—8%) или ортофосфорную кислоту (10—15%). Технические свойства Д. определяются ГОСТами 3910—47, 4137—48, 1566—50, 6024—51, 5024—51 и 8023—56.

Лит.: Кайнарский И. С. Динас. М., 1961; Химическая технология керамики и огнеупоров. М., 1972.

Л. Б. Романовский.

ДИОРИТ (от греч. διορίτω — различаю, разграничиваю) — плутокристаллическая изверженная глубинная горная порода, состоящая из светлого андезина (65—70%) и одного или нескольких цветных мине-

ралов, обычно роговой обманки (30—35%). В небольших количествах может содержать кварц, в виде примесей — апатит, магнетит, сфен, реже — циркон, ортит, ильменит и др. По содержанию кварца Д. подразделяют на кварцевые (кварца больше 5%) и бескварцевые. В каждой из этих групп по характеру цветного минерала выделяют разности: биотитовые, биотито-роговообманковые, роговообманковые (собственно Д.), биотито-гиперстеновые, диопсидовые и авгитовые. Обособляются также разновидности со сравнительно небольшим количеством цветного минерала (лейкодиориты). Авгитово-кварцевый Д., ассоциирующий с гранодиоритом в Банате (Югославия), наз. банатит. Д. относится к группе изверженных пород среднего состава. Содержание породообразующих окислов в Д. (среднее по данным 92 анализов, %): SiO_2 — 56,22; TiO_2 — 0,73; Al_2O_3 — 17,16; Fe_2O_3 — 2,88; FeO — 4,92; MnO — 0,15; MgO — 3,60; CaO — 7,05; Na_2O — 3,66; K_2O — 1,64; H_2O — 1,73; P_2O_5 — 0,26. Д. представляет собой серую до темно-серой (измененные разности имеют зеленоватые оттенки) мелко- и среднезернистую (размер зерен 2—5 мм) породу гипидиоморфно-зернистой (диоритовой) структуры, массивной, шпировой, реже — гнейсовидной текстуры. Плотность 2,75—2,85 г/см³; предел прочности на сжатие воздушно-сухих образцов 719—3000 кгс/см²; износ в барабане Деваля 2%. Обычно Д. образуют небольшие массивы, штоки и жилы. Часто из этих пород состоят краевые участки крупных гранитных и гранодиоритовых массивов. Иногда они ассоциируют с габбро. Для некоторых небольших тел Д. характерны шаровая и подушечная отдельности. Д. отличается большой мех. прочностью, хорошей полируемостью, стойкостью против выветривания и морозостойкостью, в связи с чем применяется как высококачественный облицовочный и блоковый строительный камень. Д. используют в качестве наполнителей тяжелых бетонов и для дорожных покрытий.

Лит.: Луцицкий В. И. Петрография, т. 2. М.—Л., 1949; Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., 1964; Дыбков В. Ф. [и др.]. Курс месторождений неметаллических по-

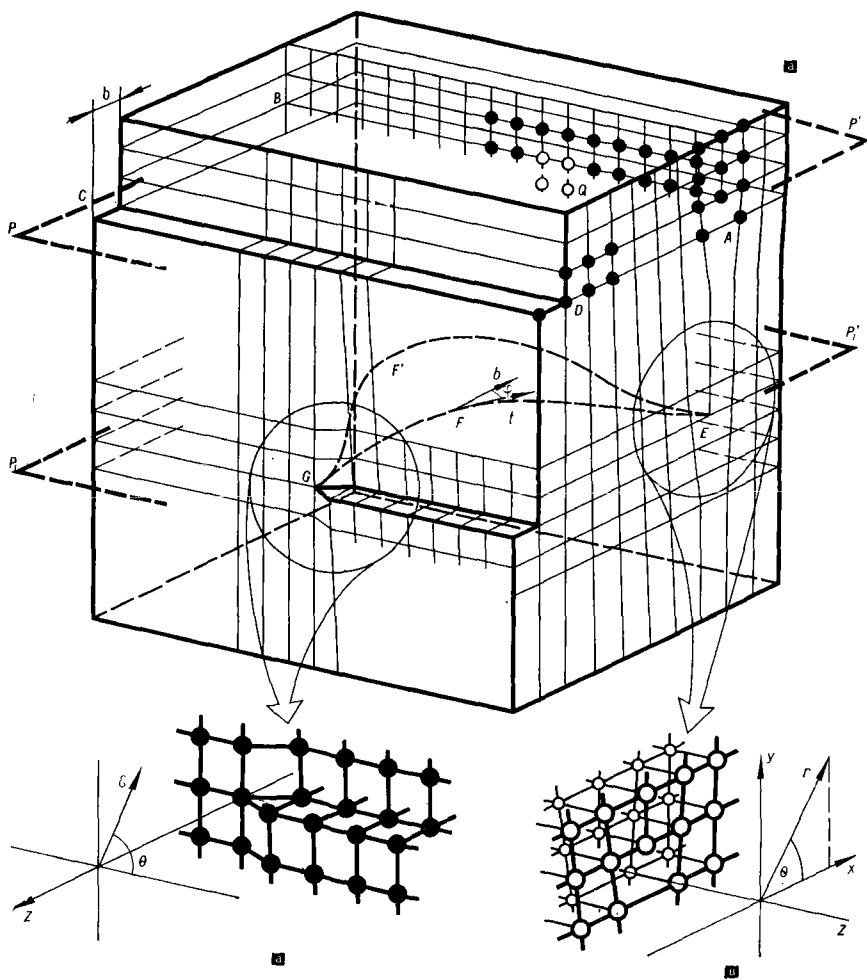
лезных ископаемых. М., 1969; Соловьев С. П. Химизм магматических горных пород и некоторые вопросы петрохимии. Л., 1970.

[В. А. Пуканов.]

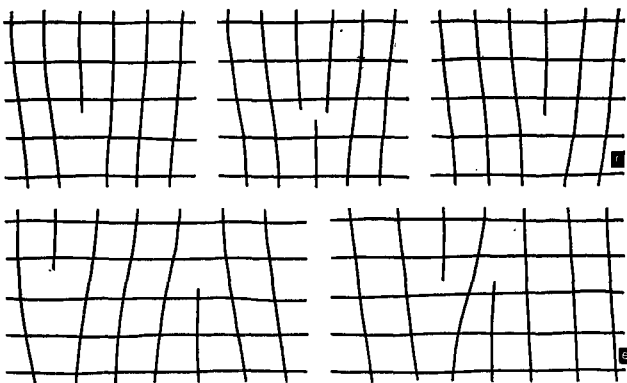
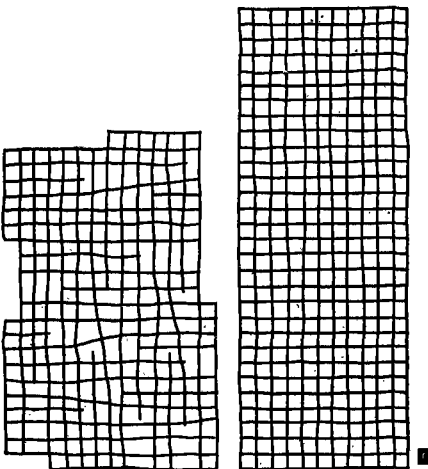
ДИСЛОКАЦИИ (от лат. dis... — приставка, означающая разделение, разъединение, и locus — место) — линейные дефекты кристаллической решетки, вдоль и вблизи к-рых нарушено правильное расположение атомных плоскостей. Д. в непрерывной упругой среде теоретически исследовал итал. ученый В. Вольтерра в 1907. Различают два осн. вида Д. — краевые и винтовые. Если правильное расположение атомных плоскостей в кристалле нарушено тем, что одна из них обрывается вдоль некоторой прямой, эта линия наз. краевой Д. Она образуется, если разрезать кристалл по части $ABCD$ плоскости PP' , ограниченной прямой AB (рис., а на с. 366), сдвинуть верхнюю часть относительно нижней на одно межатомное расстояние b в направлении нормали к AB и воссоединить на противоположных краях разреза атомы, ставшие после сдвига ближайшими соседями. Оставшаяся «лишней» полуплоскость обрывается вдоль краевой Д., а на боковой поверхности кристалла возникает ступенька CD шириной b . Вектор сдвига b , равный вектору трансляции решетки, наз. вектором Бюргерса. Если вектор Бюргерса параллелен краю надреза AB , получается винтовая дислокация (в плоскости P_1P_1' разрез и сдвиг на величину вектора Бюргерса осуществлены лишь на участке, ограниченном кривой EFG). Угол ϕ между вектором Бюргерса и вектором касательной к границе сдвига (t) непрерывно изменяется от характерного для краевой Д. значения 90° в точке E до значения 0° в точке G , где Д. имеет винтовую ориентацию. На промежуточных участках граница сдвига представляет собой смешанную дислокацию. Плоскость, проходящая через вектор Бюргерса и вектор касательной к линии дислокации, наз. плоскостью скольжения дислокации. Область вблизи края незавершенного сдвига, где межатомные расстояния значи-

тельно искажены, наз. ядром дислокации (рис., б, в). Д. с вектором Бюргерса, меньшим чем наименьший вектор трансляции решетки, наз. частичной. Ее перемещение по решетке приводит к образованию поверхностных дефектов: дефектов упаковки, антифазных границ в упорядоченных сплавах (см. *Антифазная структура*), а также к двойникованию (см. *Двойниковая структура*). Под действием касательных напряжений Д. могут перемещаться, вызывая пластическую деформацию кристал-

ла. Перемещение в плоскости скольжения наз. скольжением дислокации. Для движения Д. достаточно приложить в плоскости скольжения касательное напряжение, значительно меньшее ($10-100 \text{ гс/мм}^2$ в зависимости от вида кристалла и т-ры), чем требуется для одновременного сдвига всей атомной плоскости кристалла относительно соседней. В результате скольжения одной Д. через кристалл происходит пластический сдвиг на величину вектора Бюргерса. Прохождение многих Д. по одной плоскости скольжения приводит к образованию на поверхности кристалла широкой ступени, выявляе-



мой в виде линии сдвига. Перемещение краевой или смешанной Д. по нормали к плоскости скольжения наз. переползанием. Оно возможно лишь вследствие присоединения диффундирующих атомов либо удаления их (или встречного движения *вакансий*) от края полуплоскости. Д. при этом переходит из одной плоскости скольжения в другую (ниже- или вышележащую). С присоединением нескольких вакансий к Д. начинается переползание (вблизи точки Q). Поскольку скорость диффузии экспоненциально уменьшается с понижением t -ры, переползание происходит с заметной скоростью только при достаточно высоких t -рах. В результате переползания дислокаций в нагруженном кристалле нормальные к направлению растяжения атомные



Дислокации: а — схема образования дислокации; б — ядро винтовой дислокации; в — ядро краевой дислокации; г — переползание дислокаций при растяжении кристалла; д — пересоединение межатомных связей; е — аннигиляция притягивающихся дислокаций.

плоскости надстраиваются, а параллельные сокращаются (рис., г), и кристалл также пластически деформируется. Дислокации являются источниками внутренних напряжений: участки кристалла вблизи их находятся в упруго-напряженном состоянии. Напряжения у краевой дислокации в точке с координатами r и θ

$$\sigma_{xx} = D \frac{\sin \theta (2 + \cos 2\theta)}{r},$$

$$\sigma_{xy} = D \frac{\cos \theta \cos 2\theta}{r},$$

$$\sigma_{yy} = D \frac{\sin \theta \cos 2\theta}{r}, \quad \sigma_{zz} = 0,$$

у винтовой дислокации

$$\sigma_{\theta z} = Gb/2\pi r,$$

где $D = Gb/[2\pi(1 - \nu)]$ (здесь G — модуль сдвига; ν — коэфф. Пуассона). Поля напряжений отдельных Д. выявляют (в прозрачных кристаллах) методом *фотоупругости*. Искривление межплоскостных растяжений и искривление атомных плоскостей вблизи Д. приводят к добавочному рассеянию рентгеновских лучей и электронов. На этом основаны рентгеновские (см. *Рентгенотопографический анализ*) и электронномикроскопические (см. *Электронномикроскопический анализ*) методы наблюдения дислокаций. В зависимости от взаимной

ориентации векторов Бюргерса две дислокации либо притягиваются, либо отталкиваются. Величина упругой энергии поля напряжения Д. (на единицу длины), равная $\sim Gb^2/2$, составляет около 10^{-4} эрг на 1 см длины дислокации. Если кристалл находится под внешним напряжением σ , на расположенные в нем Д. действует сила $F \approx \sigma b$ (на единицу длины). Под действием ее Д. перемещаются, вследствие чего кристалл пластически деформируется. При скользянии Д. межатомные связи пересоединяются (рис., *д*), на что затрачивается часть работы, совершаемой внешней силой. Движению Д. препятствуют также упругое взаимодействие с др. дислокациями, примесные атомы и др. дефекты решетки (см. *Дефекты в кристаллах*). На преодоление этих препятствий расходуется оставшаяся работа внешних сил. Практически непреодолимыми препятствиями являются границы зерен в поликристаллах, частицы др. фазы в распадающихся сплавах, двойники. Если напряжения невелики, скорость движения Д. определяется термофлуктуационным преодолением препятствий и увеличивается экспоненциально с напряжением. При напряжениях, достаточно больших для безактивационного преодоления препятствий, скорость движения Д. обуславливается динамическими потерями энергии — столкновениями с фононами и электронами проводимости и испусканием фононов. В сверхпроводящих материалах электронное торможение прекращается при переходе в сверхпроводящее состояние, подвижность дислокаций возрастает, что проявляется в увеличении скорости ползучести и снижении деформирующего напряжения. В области динамического торможения скорость Д. приблизительно пропорциональна приложенному напряжению, но не превосходит скорости звука в кристалле. Скорость переползания пропорциональна напряжению и коэфф. диффузии. Д. возникают уже в процессе роста кристалла из расплава или из газовой фазы. Их плотность при затвердевании расплава может достигать 10^7

см $^{-2}$. Методы выращивания монокристаллов, почти не содержащих Д., разработаны только для германия, кремния и некоторых др. кристаллов. При пластической деформации кристалла Д. интенсивно размножаются. В сильно наклепанных кристаллах плотность их достигает $\approx 10^{12}$ см $^{-2}$. Механизмы размножения Д. (увеличения их суммарной длины в единице объема) основаны на прогибании под действием внешней силы линий Д., закрепленных на своих концах какими-либо препятствиями. Таким удлинением является, напр., переход отрезка дислокации EFG , закрепленного в точках E и G , в положение $EF'G$. Притягивающиеся Д. с противоположными векторами Бюргерса, лежащие в одной плоскости скользяния, при сближении аннигилируют (рис., *е*). Разноименные Д. в различных плоскостях скользяния аннигилируют переползанием. Вследствие этого при высокотемпературном отжиге кристалла, способствующем диффузии и переползанию, плотность Д. уменьшается. Распределение Д. в деформированных кристаллах обычно неравномерно. При малой степени деформации (до 10%) они часто располагаются вдоль отдельных плоскостей скользяния, к-рые на поверхности кристалла выявляются методом избирательного травления в виде линий и полос скользяния. С увеличением степени деформации часто возникает ячеистая структура, выявляемая электронным микроскопом и по рассеянию рентгеновских лучей. Границы ячеек состоят из густо расположенных Д., размер ячеек обычно около 1 мкм. При размножении Д. средние расстояния между ними сокращаются, их поля напряжений перекрываются и скользяние затрудняется. Чтобы оно могло продолжаться, приложенное внешнее напряжение увеличивают (см. *Деформационное упрочнение*). Упрочнение кристаллов достигается также введением различных препятствий для движения Д.: примесных атомов (в виде легирующих добавок), частиц второй фазы (возникающих в процессе термической обработки диффузионным путем или при бездиффузионных фазовых превращениях), двойников, радиа-

ционных дефектов, дополняющих межзеренных границ (измельчением зерна в поликристаллическом материале либо измельчением ячеистой дислокационной структуры). Другой способ упрочнения состоит в возможно полном удалении Д., что реализуется в *нитевидных кристаллах*, прочность к-рых достигает теоретической (до 1000 кгс/мм^2). Если Д. разноразножаются интенсивно, их локальная плотность вблизи непреодолимых препятствий настолько велика, что локальные внутренние напряжения достигают значений, близких к теоретической прочности. Тогда наступает разрушение, обусловленное зарождением и ростом *микротрещин*. Разрушению способствуют также термические флуктуации. Дислокации влияют на физ. св-ва кристаллов. Плотность кристалла с Д. меньше, чем бездефектного. Одна Д. уменьшает плотность приблизительно настолько же, насколько цепочка вакансий такой же длины. Диффузионное перемещение атомов вдоль Д. происходит быстрее, чем в объеме кристалла (трубчатая диффузия). Поэтому Д. ускоряют старение и др. структурные перестройки, носящие диффузионный характер. Рассеяние фононов (тепловых колебаний решетки) на Д. снижает *теплопроводность* кристалла. Рассеяние электронов на Д. повышает удельное *электрическое сопротивление* металлов (на $10^{-49} - 10^{-48} \text{ ом} \cdot \text{см}$ на 1 см длины Д. в 1 см^3). В запрещенных энергетических полосах полупроводниковых кристаллов возникают «дислокационные» энергетические уровни, вследствие чего электрические и оптические св-ва кристалла резко изменяются (вплоть до изменения знака носителей тока). В *ферромагнитных материалах* Д. тормозят движение доменных границ, что приводит к повышению гистерезисных потерь. В сверхпроводниках второго рода Д. препятствуют перемещению вихревых нитей, повышая значение критического магн. поля (или критического тока), при к-ром разрушается сверхпроводящее состояние. Д. выявляют с помощью трансмиссионного электронного микроскопа, средств рентгенографического анализа, методом фотоупругости, а также при-

бегая к *травлению* поверхности вблизи выхода дислокации, к-рая обнаруживается в виде ямки травления. Прямое наблюдение расположения атомов в ядре дислокации возможно в автоионном микроскопе. В некристаллических твердых телах (напр., стекле) локальные изменения состава и плотности вызывают внутренние напряжения, источником к-рых являются эффективные дислокации. Под действием внешних напряжений эти дислокации перемещаются подобно дислокациям в кристаллах, однако ввиду их незначительной подвижности, требующей диффузионных атомных перестроек, *пластичность* таких тел при низкой *т-ре* очень мала.

Лит.: Иденбом В. Л., Орлов А. Н. Физическая теория пластичности и прочности. «Успехи физических наук», 1962, т. 76, в. 3; Фридель Ж. Дислокации. Пер. с англ. М., 1967; Коттрелл А. Теория дислокаций. Пер. с англ. М., 1969; Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. Пер. с англ. М., 1972.

А. Н. Орлов.

ДИСПЕРСИОННОЕ ТВЕРДЕНИЕ — повышение *твердости* (упрочнение) сплавов, обусловленное образованием выделений дисперсной фазы вследствие распада пересыщенного *твердого раствора*. Определяется характером распада, размером, формой и структурой выделившихся частиц. Упрочнение сплавов объясняется несколькими теориями предела *текучести* в дисперсионно-твердеющих сплавах (см. *Стареющие сплавы*). В теории Мотта и Набарро учитывается лишь упругое взаимодействие между полем внутренних напряжений вокруг сферических частиц и полем движущихся *дислокаций*. Допускается возможность огибания частиц дислокациями. Миним. радиус кривизны этого изгиба $\rho_{\min} = Gb/\tau_i$, где G — модуль упругости; b — вектор Бюргерса дислокации; τ_i — величина средних внутренних напряжений. Теория рассматривает случаи $\rho < \lambda$ (для очень мелких частиц); $\rho \approx \lambda$ (упрочнение сплава максимумом); $\rho > \lambda$ (для крупных частиц, образующихся на стадии *перестаривания металлов*). Здесь λ — среднее расстояние между частицами.

Если $\rho \approx \lambda$, получают критерий критической дисперсности: $\lambda_{кр} = b/4\epsilon_0$, где ϵ — деформация решетки матрицы при образовании частиц; ϵ_0 — исходная концентрация сплава. Установлено, что $\lambda_{кр} \approx 50$ межатомных расстояний. В теории Орована напряжение, вызывающее текучесть при наличии в сплаве дисперсных выделений второй фазы, определяется только расстоянием между ними, равным $\tau = Gb/\lambda$. Эта теория хорошо объясняет эксперимент на стадии, близкой к перестариванию, а также для твердых, некогерентных частиц. Из теории Анселла и Ленеля следует, что предел текучести сплавов, содержащих сферические частицы диаметром $d < 2\mu b/\tau$ (где μ — модуль сдвига металла матрицы), пропорционален $\sqrt[3]{f}$ (частицы с $d \approx 0,01$ мкм) или $1/\sqrt{f}$ (частицы с $d \approx 0,1$ мкм). Здесь f — объемная доля дисперсной фазы. В сплавах алюминия с серебром, алюминия с цинком, кобальта с медью, меди с титаном и в др. сплавах, где частицы «перерезаются» в результате прохождения дислокаций и имеют сферическую форму, с опытными данными лучше согласуются положения теории Мотта и Набарро. В сплавах алюминия с медью, дисперсноупрочненных сплавах, содержащих окислы, нитриды и карбиды, малоуглеродистых сталях (см. *Углеродистая сталь*), содержащих перлит и бейнит, и в др. сплавах, где частицы остаются недеформированными, а дислокации при пластическом деформировании огибают их, величина предела текучести удовлетворительно объясняется критериями Орована и Анселла с Ленелем. Д. т. используют при производстве нек-рых марок спец. сталей (напр., магнитных) и высоколегированных сплавов, а также дуралюмина и магния сплавов. См. также *Старение металлов*. Лит.: Келли А., Никлсон Р. Дисперсионное твердение. Пер. с англ. М., 1966; Физическое металловедение, в. 2. Пер. с англ. М., 1968.

ДИСПЕРСИОННО-ТВЕРДЕЮЩИЕ СПЛАВЫ — то же, что и *стареющие сплавы*.

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ — анализ размеров и распределения по размерам частиц или пор дисперсных систем, а также удельной поверхности дисперсных тел. Размеры частиц грубодисперсных систем ($d > 10^{-2}$ см) определяют с помощью *ситового анализа*, т. е. поочередного просеивания порошка через набор сит с разными размерами ячеек. Если размеры частиц составляют $10^{-3} \div 10^{-5}$ см, эффективен способ фильтрации взвеси в жидкой среде. Распределение по размерам частиц в аэрозолях ($d < 10^{-2}$ см), эмульсиях и суспензиях удобно определять согласно закону Стокса, измеряя установившуюся скорость оседания частиц в воздухе или жидкой среде. Частицы размером $10^{-2} \div 10^{-5}$ см анализируют и с помощью оптического микроскопа и ультрамикроскопа, а еще более мелкие, напр. гранулы (см. *Гранулометрический состав*) тонких пленок — с помощью электронного микроскопа, позволяющего различать образования порядка 10^{-8} см. Часто пользуются методами центрифугирования и ультрацентрифугирования, заключающимися в том, что при вращении взвеси в сосуде сферической формы наиболее тяжелые (а следовательно, наибольших размеров) частицы сосредотачиваются в полосе внутренней поверхности сосуда, наиболее удаленной от оси вращения; частицы же меньших размеров собираются в полосах, находящихся выше и ниже, т. е. ближе к оси вращения. Таким образом, вверх и вниз от экваториальной линии сферической поверхности автоматически реализуется функция распределения частиц в зависимости от их радиусов. Центрифугирование и ультрацентрифугирование пригодны для дисперсных систем, размеры частиц к-рых составляют $10^{-4} \div 10^{-7}$ см. Функция распределения у монодисперсных систем (их частицы близки по размерам) имеет четко выраженный максимум, а у полидисперсных систем, состоящих из частиц, размеры к-рых отличаются значительно, максимум размыт. Диаметр частиц одних размеров определяют также, измеряя скорость диффузии. Для полидисперсной си-

методы этот способ требует предварительного разделения фракций, каждая из которых объединяет частицы примерно одинаковых размеров. Высокодисперсные системы анализируют, прибегая к ультрафильтрации вещества через мембраны с малыми размерами пор (в пределах $10^{-5} \div 10^{-7}$ см). Размеры пор пористых веществ удобно определять методом капиллярной конденсации сильно адсорбирующих веществ. Д. а. осуществляют также методами нефелометрического и турбидиметрического анализов (см. *Фотометрические методы анализа*). Нефелометрический анализ основан на измерении интенсивности рассеянного света под некоторым углом к первичному световому пучку; турбидиметрический анализ — на определении ослабления светового потока при прохождении через плоско-параллельный слой дисперсной системы. При нефелометрическом анализе интенсивность вторичного излучения, рассеянного частицами, размеры которых значительно меньше длины волны, определяется соотношением

$$I(\varphi) = I_0 \frac{9\pi^2 V}{\lambda^4 r^2} \left| \frac{\tilde{n}^2 - 1}{\tilde{n}^2 + 1} \right|^2 \times \frac{1 + \cos^2 \varphi}{2}, \quad (1)$$

где $I(\varphi)$ — интенсивность вторичного излучения; I_0 — интенсивность излучения, входящего в дисперсную систему; V — объем частицы; λ — длина волны; r — расстояние от точки наблюдения до дисперсной системы (оно должно быть значительно больше сечения первичного светового пучка); \tilde{n} — комплексный показатель преломления. Если a — радиус частицы, форма которой близка к сферической, то дополнительным условием выполнения соотношения (1)

является неравенство $|\tilde{n}| a < 1$. Чаще всего это условие соблюдается. В соотношении (1) множитель

$\left| \frac{\tilde{n}^2 - 1}{\tilde{n}^2 + 1} \right|^2$ можно исключить, изме-

нив интенсивность вторичного излучения при двух углах. Для частиц, форма которых существенно отличается от сферической, соотношение (1) ма-

лопригодно, его по возможности заменяют более сложным. При турбидиметрическом анализе $\cos \varphi = 1$, и тогда соотношение (1) несколько упрощается. Ввиду того, что интенсивность вторичного излучения является функцией размеров, формы, оптических постоянных и концентрации частиц, а также состояния их поверхности, методы нефелометрии и турбидиметрии не всегда дают достаточно точные результаты, поскольку невозможно составить аналитическое выражение, хорошо учитывающее эти зависимости. Для частиц, размеры которых значительно больше длины волны, теоретическое рассмотрение процесса рассеяния значительно усложняется. При Д. а. пользуются и методами *седиментационного анализа*, позволяющими измерять количество частиц на определенном уровне с помощью, напр., спец. весов. Удельную поверхность дисперсных тел часто определяют методами, используемыми для установления размеров частиц или пор. К одному из наиболее распространенных среди них относится метод *адсорбции*. Вариантом его является метод, основанный на использовании ур-ния Брунауэра, Эммета и Теллера (т. н. ур-ния БЭТ), отвечающего многослойной адсорбции,

$$\frac{p}{V(p_0 - p)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C - 1}{V_m C} \cdot \frac{p}{p_0}, \quad (2)$$

где p — давление насыщенного пара адсорбата в равновесии с адсорбентом; V — объем газа, адсорбированного при данном давлении; p_0 — давление насыщенного пара адсорбата; V_m — объем газа, образующего монослой; C — константа. Для определения удельной поверхности находят прежде всего объем газа, образующего монослой. Откладывая по горизонтальной оси координат $\frac{p}{p_0}$,

а по вертикальной $\frac{p}{V(p_0 - p)}$, получаем прямую с угловым коэфф. $\frac{C - 1}{V_m C}$,

отсекающую на вертикальной оси отрезок $\frac{1}{C}$. По двум этим параметрам и вычисляют объем газа. Разделив величину объема газа V_m на толщину монослоя, соответствующую линейным размерам молекул в перпендикулярном к границе раздела направлении, и учтя площадь молекулы в предположении гексагональной упаковки молекул на адсорбенте, определяют искомую поверхность. Такой метод дает достаточно хорошее приближение, о чем свидетельствует сравнение результатов, полученных по ур-нию БЭТ, с результатами, напр., анализа изотерм газовой адсорбции. Иной принцип заложен в методе анализа, основанном на дифракции рентгеновских лучей. Так, если частицы образованы кристаллами кубической сингонии, ширина колец дебаеграмм связана с их размерами соотношением

$$B = 2 \sqrt{\frac{\ln^2}{\pi}} \cdot \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{1}{\cos \frac{\theta}{2}} + b, \quad (3)$$

где B — ширина кольца, деленная на его радиус; λ — длина волны; D — длина ребра частицы, имеющей форму кубика; θ — угол между падающим и рассеянным лучами; b — константа, характеризующая геометрию прибора. Полную поверхность пористых тел определяют также методом теплопроводности, измерением скорости растворения дисперсной системы, определением теплоты смачивания, проницаемости, методом адсорбции красителей, с помощью радиоактивных индикаторов, электролитическим и интерференционным методами. Для быстрой оценки полной поверхности пористых тел используют методы газовой хроматографии (см. *Хроматографический анализ*).

Лит.: Герасимов Я. И. [и др.]. Курс физической химии, т. 1. М., 1969; Физико-химическое применение газовой хроматографии. М., 1973; Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. Пер. с англ. М., 1970.

М. П. Лисица.

ДИСПЕРСИЯ СВОЙСТВ (лат. *dispersio* — рассеяние) — рассеяние свойств материала при переходе от одного образца к другому внутри серии образцов, изготовленных из материала одного состава и состояния. Д. с. связана со случайными

Т а б л и ц а 1. Характеристики дисперсии статических свойств листовых материалов

Марка материала	Толщина листа, мм	Количество испытанных образцов	σ_b		
			\bar{x} , кгс/мм ²	S , кгс/мм ²	v , %
Д16АТ	0,5—2,5	12 619	44,00	1,053	2,39
Д1АТ	0,5—2,5	21 633	39,97	1,222	3,06
АМгЗП	0,5—4,5	7402	28,02	1,393	4,97
АМг5ВМ	0,5—4,5	43 993	30,12	1,040	3,45
В95АТ	0,3—2,5	11 833	55,71	1,523	2,73
МА2-1М	0,8—2,0	2928	27,62	0,742	2,68
МА8М	0,8—2,5	34 973	26,54	0,904	3,42
ОТ4	5,0	183	79,9	2,5	3,13
ВТ1-1	5,0	603	52,3	2,8	5,35
ВТ5-1	5,0	182	89,0	3,3	3,65
ВТ14	2,5	99	126,0	7,0	5,55
08пс	2,0—3,0	74	34,31	2,102	6,13
15пс	2,0—4,0	169	38,76	2,934	7,63
25пс	2,0—4,0	130	42,10	3,218	7,64
10Г2	<4,0	230	48,50	3,528	7,24
30ХГСА	<4,0	4079	61,88	5,140	8,31
12Х5МА	<4,0	3146	116,72	7,949	6,82

изменениями хим. состава материала, отклонениями в режимах производства полуфабрикатов, микро- и макронеоднородностью структуры материала (последствиями ливкации, различием в ориентации и св-вах зерен, различиями в границах зерен, наличием включений, искажений кристаллической решетки и др.), а также с изменением условий изготовления и испытания образцов (неодинаковыми режимами термической обработки, изменением радиуса закругления режущей кромки инструмента в процессе обработки, различиями в точности установки образцов в захватах машины, погрешностями замеров размера образцов, погрешностями отсчета нагрузки при испытании и т. п.). Наиболее полно изучены закономерности дисперсии мех. св-в. Эта дисперсия наблюдается как при кратковременных, так и при длительных статических и динамических испытаниях. Характеристики прочности и пластичности образца при статическом нагружении, а также долговечность материалов при усталостных и длительных статических испытаниях могут принимать различные (случайные) значения. Д. с. наиболее полно характеризуется функцией распределения,

определяющей вероятность того, что случайная величина X (характеристика материала) примет значение меньшее, чем произвольное действительное число x , т. е. $F(x) = P(X < x)$. Характеристики сопротивления малым пластическим деформациям, характеристики прочности при кратковременных и длительных статических и усталостных испытаниях и характеристики пластичности материала удовлетворительно согласуются с нормальным законом распределения (распределением Гаусса). Функция распределения в этом случае имеет вид

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx,$$

а плотность вероятности определяется равенством

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \times e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < x < \infty),$$

где постоянные a и σ^2 — параметры

$\sigma_{0,2}$			δ		
\bar{x} , кгс/мм ²	S , кгс/мм ²	v , %	\bar{x} , кгс/мм ²	S , кгс/мм ²	v , %
29,77	1,143	3,86	19,13	1,825	9,54
25,67	1,545	6,02	19,54	1,928	9,93
22,53	1,883	8,46	10,65	1,446	13,50
17,71	1,714	9,71	20,38	2,004	9,83
49,02	2,534	5,17	9,81	1,569	16,00
17,95	0,956	5,32	20,01	2,364	11,81
16,81	2,061	13,09	20,61	2,871	13,94
—	—	—	17,0	2,5	14,70
—	—	—	27,0	2,7	9,89
—	—	—	13,5	2,0	14,81
—	—	—	7,5	1,7	22,66
24,21	2,775	11,46	37,38	4,189	11,21
26,66	4,322	16,21	31,62	2,233	7,06
24,44	3,798	15,54	29,72	3,838	12,93
34,57	4,427	12,82	30,98	3,712	11,93
43,81	6,070	13,87	25,51	4,420	17,35
94,23	8,324	8,83	14,71	2,115	14,40

распределения. Долговечность при усталостных и длительных статических испытаниях подчиняется логарифмически нормальному закону распределения, т. е. в этих случаях нормально распределенными являются случайные величины $x = \lg N$ и $x = \lg t$, где N — число циклов до разрушения при усталостных испытаниях; t — время до разрушения при длительных статических испытаниях. Для оценки дисперсии мех. св-в используют также числовые характеристики, среди которых наибольшее значение имеют: a — математическое ожидание (среднее значение); σ^2 — дисперсия; σ — среднее квадратическое отклонение; γ — коэфф. вариации случайной величины x . Математическое ожидание и дисперсия являются параметрами нормального распределения. Перечисленные характеристики носят название генеральных. Экспериментальные оценки генеральных характеристик (характеристик дисперсии мех. св-в) имеют то же наименование и обозначаются соответственно \bar{x} , S^2 , S и v . Их подсчитывают по ф-лам

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

$$S = \sqrt{S^2}, v = \frac{S}{x}$$

где x_i — принимаемые значения рассматриваемой характеристики при испытаниях; n — количество испытанных образцов (табл. 1). Эмпирические оценки сами являются случайными величинами и могут приобретать различные значения при повторении опыта. Обоснованная оценка генеральных характеристик по результатам экспериментов осуществляется с помощью т. н. доверительных интервалов, к-рые определяются в зависимости от задаваемой доверительной вероятности $p = 1 - \alpha$ и количества испытанных образцов. Смысл доверительного интервала состоит в том, что если многократно повторить опыт с определенной серией образцов и каждый раз находить

доверительный интервал, то в % случаев эти интервалы будут покрывать значение генеральной характеристики. Доверительные интервалы для a и σ^2 определяют по ф-лам

$$\bar{x} - \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha, n-1} < a < \bar{x} + \frac{S}{\sqrt{n}} t_{\alpha, n-1},$$

$$\frac{(n-1) S^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}} < \sigma^2 < \frac{(n-1) S^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}},$$

где $t_{\alpha, n-1}$, $\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}}$ и $\chi^2_{\frac{\alpha}{2}}$ — коэфф., зависящие от задаваемой доверительной вероятности и количества испытанных образцов. Дисперсия

Таблица 2. Характеристики дисперсии логарифма числа циклов до разрушения гладких образцов из сплава АВ при изгибе с вращением

σ_a , кгс/мм ²	n	$\lg N = x$	S	v , %
25	20	4,9578	0,197	3,98
23	20	5,2310	0,152	2,91
20	600	5,6505	0,222	3,94
18	500	5,9981	0,290	4,84
16,5	250	6,2340	0,321	5,16
15	100	6,5161	0,307	4,72
14	50	6,9641	0,380	5,59
13	50	7,3278	0,419	5,73

Примечание: Диаметр образца 8 мм.

Таблица 3. Характеристики дисперсии логарифма числа циклов до разрушения образцов из сплава АВ при изгибе с вращением

d , мм	σ_d	$\lg N = x$	S	v , %
40	1,00	6,214	0,248	4,00
16	1,00	6,414	0,289	4,51
8	1,00	6,516	0,307	4,71
8	1,45	6,776	0,323	4,77
8	1,86	6,956	0,365	5,24

Примечание: $\sigma_a \text{ макс} = 15$ кгс/мм², $n = 100$, σ_d — коэфф. концентрации напряжений

долговечности при усталостных испытаниях возрастает с увеличением среднего значения долговечности или снижением амплитуды напряжения σ_a (табл. 2—4). Дисперсия предела выносливости снижается с увеличением продолжительности испытаний, тогда как коэфф. вариации этой характеристики остается практически постоянным. С увеличением нагружаемого объема и снижением градиента напряжений коэфф. вариации пре-

Таблица 4. Характеристики дисперсии предела выносливости образцов из сплава АВ

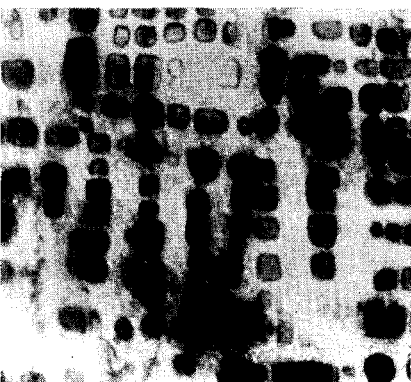
d , мм	α_σ	$\bar{x} = \bar{\sigma}_{-1}$, кгс/мм ²	S , кгс/мм ²	v , %
40	1,00	12,3	0,692	5,62
16	1,00	13,1	0,963	7,34
8	1,00	13,6	1,070	7,90
8	1,45	9,8	0,854	8,74
8	1,86	8,0	0,780	9,75
8	2,27	6,9	0,678	9,83

Примечание: База 10^7 циклов.

дела выносливости убывает. При длительных статических испытаниях дисперсия долговечности заметно убывает с ростом средней долговечности или снижением уровня напряжения. Дисперсия предела *длительной прочности* снижается с увеличением времени испытаний.

Лит.: Кузнецов А. А. [и др.]. Вероятностные характеристики прочности

Дисперсная структура, образовавшаяся при старении дисперсионно-твердеющего сплава медь — никель — железо, $\times 80\,000$.



авиационных материалов и размеров сортамента. М., 1970; Степнов М. Н., Гиацинтов Е. В. Усталость легких конструктивных сплавов. М., 1973.

М. Н. Степнов.

ДИСПЕРСНАЯ СТРУКТУРА (лат. *dispersus* — рассеянный, разбросанный) — структура твердого материала, состоящая из частиц дисперсной фазы, распределенных в объеме матричной (основной) среды. Распределение частиц (нерегулярное или регулярное) зависит от энергии взаимодействия между ними и типа взаимодействия дисперсной фазы с матричной средой. Различают Д. с. тиксотропные и нетиксотропные. Если энергия связи между частицами мала (не превышает по порядку величины энергию теплового движения частиц), образуются тиксотропные структуры со сравнительно небольшой прочностью и пластичностью; после разрушения они со временем восстанавливаются. Типичные тиксотропные Д. с. — структуры систем, образующихся при коагуляции водных растворов гидроокиси железа, гидроокиси алюминия и т. д. Если энергия связи между частицами велика, образуются нетиксотропные, высокопрочные, необратимо разрушающиеся структуры. К ним относятся структуры твердения минеральных вяжущих материалов — *цементов*, структуры *керамических материалов*, различных дисперсионно-твердеющих сплавов (см. *Стареющие сплавы*).

Д. с. при старении таких сплавов образуется в результате превращения в твердом состоянии. Ее формирование в пределах упругой матричной среды приводит к возникновению полей внутренних напряжений. Распределение и величина этих напряжений, а также величина поверхностного напряжения на межфазной границе в значительной степени определяют морфологию дисперсной фазы в матричной среде. Во мн. сплавах при распаде образуются модулированные структуры, к-рые характеризуются некоторой периодичностью в расположении включений (рис.). Д. с. термодинамически неустойчивы, в них может самопроизвольно происходить укрупнение

частиц. Некоторая их стабильность может быть связана с наличием энергетического барьера, препятствующего коагуляции. В дисперсионно-твердеющих сплавах выдержка при повышенных t -рах приводит к изменению Д. с., в частности к укрупнению частиц дисперсной фазы. Поскольку их твердость и прочность определяются степенью дисперсности частиц, такое укрупнение уменьшает твердость и прочность сплава. Дисперсноупрочненные материалы обладают Д. с., более устойчивой при повышенных t -рах. Такие материалы (напр., спеченные алюминиевые пудры, состоящие из дисперсных частиц окиси алюминия в алюминиевой матричной среде) получают гл. обр. методами порошковой металлургии. В коллоидных системах, у которых поверхностное напряжение на границе дисперсная фаза — матричная среда очень мало или равно нулю, коагуляция не вызывает уменьшения свободной энергии, и такие Д. с. термодинамически стабильны. Структурообразованием и мех. свойствами Д. с. управляют, изменяя условия коагуляции, срастания или спекания частиц (напр., с помощью малых добавок адсорбирующихся поверхностно-активных веществ).

Лит.: Ребиндер П. А. Физико-химическая механика. М., 1958; Лихтман В. А., Шукин Е. Д., Ребиндер П. А. Физико-химическая механика металлов. М., 1962; Келли А., Никлсон Р. Дисперсионное твердение. Пер. с англ. М., 1966; Зонтаг Г., Штринге К. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. Пер. с нем. Л., 1973. К. В. Чуистов.

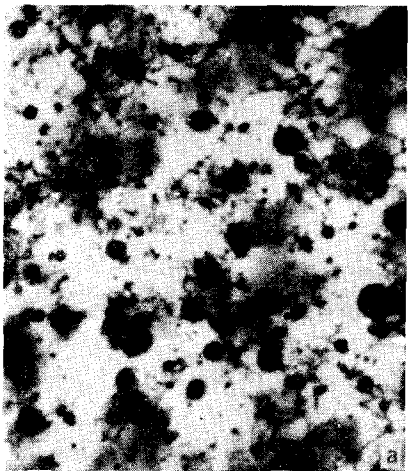
ДИСПЕРСНОУПРОЧНЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ — металлические материалы, упрочненные частицами тугоплавких соединений — дисперсных включений; класс композиционных материалов. Первый материал такого типа (вольфрамовая нить, упрочненная двуокисью тория) создан в 1916 в Германии. Макс. эффект упрочнения достигается при достаточно малом размере частиц упрочняющей фазы (0,01—0,05 мкм), равномерном их распределении в структуре материала (рис. 1) и оптимальном расстоянии между частицами (0,1—0,5 мкм). Общее объемное содержание частиц

упрочняющей фазы обычно не более 5—10%. По механизму упрочнения Д. м. принципиально не отличаются от стареющих сплавов. Однако в отличие от классических стареющих сплавов, у к-рых упрочняющая дисперсная фаза выделяется из пересыщенного твердого раствора, в Д. м. эта фаза вводится искусственно на одной из стадий их получения. Упрочняющие частицы химически взаимодействуют с матричным (основным) металлом, вследствие чего эффект упрочнения сохраняется вплоть до t -ры его плавления. Тем самым дисперсное упрочнение дает возможность повысить жаропрочность материалов, когда легирование и термическая обработка исчерпали себя. Упрочняют материалы окислами, карбидами, нитридами и др. термодинамически стабильными тугоплавкими соединениями, отличающимися малой склонностью к коагуляции при высоких t -рах. Для равномерного распределения в матричном металле упрочняющих частиц (что является важным условием

Рис. 1. Типичная дисперсная структура дисперсноупрочненного материала, $\times 20\,000$.



достижения высоких св-в материала) при произ-ве из Д. м. полуфабрикатов применяют методы порошковой металлургии. Исходные порошки металлов, содержащие включения упрочняющей фазы, получают мех. смешиванием компонентов, поверхностным или внутренним окислением, селективным восстановлением совместно осажденных гидроокисей. Заготовки из порошков получают формованием (прессованием) и спеканием. Уплотнение заготовок (перевод в беспористое состояние) осуществляют *экструзией* или горячей прокаткой. Для создания стойкой структуры и субструктуры (рис. 2), а также повышения прочности применяют теплую



и холодную прокатку, волочение, ротационную ковку и др. Дополнительного увеличения жаропрочности добиваются выращиванием зерна при вторичной *рекристаллизации* (рис. 3). Особенностью структуры рекристаллизованного материала является, в частности, высокая плотность двойников отжига. Эти двойники, замедляя скорость распространения трещин, способствуют повышению сопротивления материала разрушению. Изделия из Д. м. соединяют диффузионной *сваркой* и *пайкой*. Наибольшее применение находят Д. м. на основе алюминия, бериллия, вольфрама, железа, золота, кобальта, магния, меди, никеля, олова, платины, свинца, серебра, урана, хрома, цинка и циркония. В а л ю м и н и е в ы х Д. м. упрочняющей фазой служит тонкая и плотная окисная пленка на поверхности исходных частиц. Наилучшее сочетание *прочности* и *пластичности* достигается при содержании окиси алюминия от 4 до 14%. В промышленности чаще всего используют Д. м. со ср. содержанием 7% Al_2O_3 (САП-1), 10—11% Al_2O_3 (САП-2) и 13—14% Al_2O_3 (САП-3). В зависимости от содержания упрочняющей фазы предел прочности составляет от 25 до 38 $кгс/мм^2$ при t -ре $20^\circ C$, от 11 до 18 $кгс/мм^2$ при t -ре $300^\circ C$ и от 7 до 11 $кгс/мм^2$ при t -ре $500^\circ C$ (см. также табл. 1).

Предел *ползучести* ($\sigma_{0,2/100}$) равен около 7 $кгс/мм^2$ при t -ре $350^\circ C$ и 4 $кгс/мм^2$ при t -ре $500^\circ C$. Д. м. типа САП обладает высокой *коррозионной стойкостью* и *радиационной стойкостью*. Осн. области применения алюминиевых Д. м. — авиационная техника и реакторостроение. В б е р и л л и е в ы х Д. м. упрочняющая фаза — окись BeO или карбид Be_2C . У деформированных полуфабрикатов с 1—1,5% BeO при комнатной t -ре предел прочности 45—55 $кгс/мм^2$, относительное удлинение 5—15%. Бериллиевые Д. м. обладают высоким

Рис. 2. Дислокационная структура деформированного дисперсноупрочненного материала (а) и полигональная субструктура ожеженного дисперсноупрочненного материала (б), $\times 30\ 000$.

Предел прочности Д. м. состава Fe + 6% Al₂O₃ составляет 70 кгс/мм² при т-ре 20° С, 16,5 кгс/мм² при т-ре 650° С, 9 кгс/мм² при т-ре 800° С и 7 кгс/мм² при т-ре 980° С. Длитель-

сопротивлением ползучести и хорошей коррозионной стойкостью в воде под давлением. Длительная (100-часовая) прочность Д. м. состава Ве + 2,5% Ве₂С достигает 4 кгс/мм² при т-ре 650° С и 2,5 кгс/мм² при т-ре 730° С. Осн. область применения бериллиевых Д. м. — реакторостроение. В вольфрамовых Д. м.

Таблица 1. Длительная прочность алюминиевых дисперсноупрочненных материалов

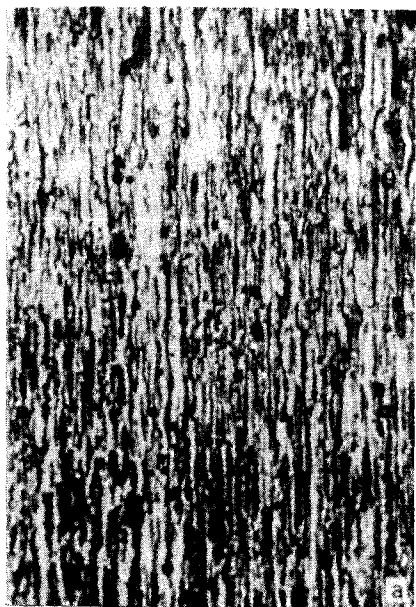
Материал	$\sigma_{100}, \text{ кгс/мм}^2$		
	250° С	350° С	500° С
САП-1	11,0	8,0	4,5
САП-2	12,0	9,0	5,5

Таблица 2. Прочность вольфрамовых дисперсноупрочненных материалов

Материал	$\sigma_B, \text{ кгс/мм}^2$				
	1650° С	1920° С	2200° С	2420° С	2760° С
Проволока	40	32	24	18	8
Листы	20	18	12	7	8

в качестве упрочняющей фазы применяют окислы (ThO₂, ZrO₂) или нитриды (HfN, ZrN). В материалах пром. марок используют окисел ThO₂ (от 0,75 до 2%). При комнатной т-ре у вольфрамовых Д. м. с 2% ThO₂ предел прочности 110—130 кгс/мм², относительное удлинение до 20% (см. также табл. 2). Длительная (100-часовая) прочность листов составляет около 2 кгс/мм² при т-ре 1800° С и более 1 кгс/мм² при т-ре 2200° С. Проволоку используют также в качестве армирующего элемента в никелевых волокнистых материалах. Осн. область применения вольфрамовых Д. м. — электровакуумная техника. В Д. м. на основе ж е л е з а упрочняющей фазой служат окислы (Al₂O₃, ZrO₂, ThO₂).

Рис. 3. Микроструктура деформированного (а) и рекристаллизованного (б) дисперсноупрочненного материала, × 420.



ая (100-часовая) прочность при т-ре 650° С превышает 7,5 кгс/мм². Использование Д. м. с нелегированным матричным металлом при более высоких т-рах ограничивается низкой жаростойкостью. При легировании матричного металла элементами, замедляющими скорость окисления, предельные рабочие т-ры могут быть доведены до 1200° С. В частности, Д. м. состава Fe + 20% Cr + 5% Al + 2% Y + 4% Al₂O₃ при т-ре 1200° С имеет длительную (100-часовую) прочность до 4,2 кгс/мм² в прутках и 2,8 кгс/мм² в листах. Д. м. на основе сталей ферритного или аустенитного класса обладают повышенной стойкостью к ползучести и пониженной склонностью к охрупчиванию под облучением, что определяет эффективность их использования в реакторостроении. Повышенная прочность и твердость Д. м. на основе золота обеспечивается введением окислов тория или алюминия. При т-ре 550° С Д. м. состава Au + 3,5% ThO₂ в три раза прочнее, чем чистое золото, а его электропроводность составляет не менее 0,9 электропроводности чистого золота. Коррозионная стойкость при введении окислов не ухудшается. Д. м. на основе золота применяются в прецизионных приборах, эксплуатируемых в химически агрессивных средах при повышенных т-рах. В кобальтовых Д. м. пром. марок в качестве

Таблица 3. Прочность и относительное удлинение кобальтового дисперсноупрочненного материала

σ_B , кгс/мм ²			δ , %		
20° С	760° С	1100° С	20° С	760° С	1100° С
102	25	14	13	24	13

Таблица 4. Прочность и относительное удлинение магниевых дисперсноупрочненных материалов

σ_B , кгс/мм ²				δ , %			
20° С	400° С	450° С	500° С	20° С	400° С	450° С	500° С
28,5—30	5—6	2,5—3	1,5—2	8	—	—	10—12

упрочняющей фазы используют двуокись тория (ThO₂). Одним из таких материалов является Д. м. состава Co + 0,2% Zr + 2% ThO₂ (табл. 3). Длительная (100-часовая) прочность при т-ре 1100° С достигает 10 кгс/мм². Для повышения прочности при средних т-рах и жаростойкости при высоких т-рах матричный металл в кобальтовых Д. м. дополнительно легируют никелем (до 30%), хромом (до 30%), молибденом или вольфрамом (до 15%), что дает возможность повысить длительную прочность при т-ре 760° С до 20—30 кгс/мм². Кобальтовые Д. м. — перспективные конструкционные материалы для газотурбинных двигателей. Упрочняющей фазой в магниевых Д. м. служит обычно окисел магния. Для сохранения достаточно хорошей технологичности содержание фазы в них поддерживают на уровне 1,0—1,1%, что и обуславливает соответствующую зависимость их прочности и относительного удлинения от т-ры (табл. 4).

При т-ре 500° С (0,85 $t_{пл}$) значение длительной (100-часовой) прочности Д. м. состава Mg + 1% MgO составляет 1 кгс/мм². Дополнительное введение в матричный металл бериллия (до 8%) с целью повышения жаростойкости позволяет использовать магниевые Д. м. в реакторостроении. Наибольших значений жаропрочности медных Д. м. достигают при введении окислов (Al₂O₃, BeO, ThO₂). Для сохранения высокой электропроводности (0,85—0,9 электропроводности бескислородной проводниковой меди) и хорошей пластичности в медных Д. м. пром. марок содержание упрочняющей фазы не должно превышать 1,5—2%. В этом случае прочность при комнатной т-ре состав-

ляет 38—45 кгс/мм², относительное удлинение 15—20%. С повышением т-ры предел прочности снижается до 30 кгс/мм² при т-ре 400° С, до 25 кгс/мм² при т-ре 600° С и до 15 кгс/мм² при т-ре 800° С. Предел ползучести ($\sigma_{0,2/100}$) может достигать 25 кгс/мм² при т-ре 450° С, 14 кгс/мм² при т-ре 650° С и 6 кгс/мм² при т-ре 850° С. Высокое сопротивление ползучести обуславливает использование медных Д. м. для изготовления обмоток роторов двигателей, эксплуатируемых при повышенных т-рах, трубчатых теплообменников, деталей электровакуумных приборов и контактов. В сварочной технике применение медных Д. м. позволяет увеличить срок эксплуатации контактов и губок машин для роликовой и стыковой сварки. В никелевых Д. м. в качестве упрочняющей фазы используют только окислы, среди которых наибольшей стабильностью при высоких т-рах отличаются ThO₂, HfO₂, ZrO₂ и Y₂O₃. Содержание окислов в материалах марок ВДУ-1 и ВДУ-2 составляет 2—3%. Наилучшее сочетание прочности и пластичности — у прутков из материалов с нелегированным матричным металлом (табл. 5).

У листов почти такая же прочность, как и у прутков, но меньшая пластичность. В отличие от стареющих никелевых сплавов, полностью разупрочняющихся при т-ре выше 1000—1100° С, никелевые Д. м. сохраняют высокое сопротивление ползучести до т-ры 1200—1300° С (табл. 6).

Для повышения прочности при комнатной и средних т-рах при одновременном повышении жаростойкости матричный металл легируют хромом (20%). В этом случае прочность при комнатной т-ре достигает 90—100 кгс/мм², а относительное удлинение сохраняется на уровне 15—20% (см. также табл. 7).

Еще большего повышения прочности при низких и средних т-рах достигают легированием матричного металла молибденом или вольфрамом, однако при этом понижается сопротивление высокотемпературному окислению. Никелевые Д. м. применяют в авиационной технике. Для

оловянистых Д. м. упрочняющей фазой служит обычно окисел олова. У Д. м. состава Sn + 0,25% SnO₂ при комнатной т-ре предел прочности составляет 6—6,5 кгс/мм², относительное удлинение 10—12%, т. е. этот материал превосходит по прочности литые сплавы на основе олова. При т-ре 150° С (0,84 $t_{пл}$) длительная (100-часовая) прочность такого Д. м. составляет около 1 кгс/мм², т. е. в три-четыре раза превышает длительную прочность литых сплавов на основе олова. В качестве упрочняющей фазы в платиновых Д. м. используют окислы (ThO₂) или карбиды (TiC, ZrC). К таким материалам относится Д. м. состава Pt + 1,8% ThO₂ (табл. 8).

Таблица 5. Прочность и относительное удлинение прутков из никелевых дисперсноупрочненных материалов

σ_B , кгс/мм ²					
20° С	400° С	600° С	800° С	1000° С	1200° С
50—55	30—35	25—30	17—20	12—15	9—10
δ , %					
20° С	400° С	600° С	800° С	1000° С	1200° С
20—25	20—25	18—20	15—18	10—13	7—10

Таблица 6. Длительная прочность никелевых дисперсноупрочненных материалов

Материал	σ_{100} , кгс/мм ²			
	1000° С	1100° С	1200° С	1300° С
Прутки	12—13	10—11	7—8	5—6
Листы	9—10	7—8	5—6	2—3

Таблица 7. Длительная прочность никельхромовых дисперсноупрочненных материалов

Материал	σ_{100} , кгс/мм ²		
	1000° С	1100° С	1200° С
Прутки	8—5	7,5—8	6—6,5
Листы	6—7	4—5	2—3

На тигровой платине полученные значения длительной (100-часовой) прочности при т-ре 1400° С до 4 кгс/мм² против 1,4 кгс/мм² у сплава Pt + 40% Rh и 0,2 кгс/мм² у литой платины. Практически ценны Д. м. с платинородиевой матрицей. Проволока из Д. м. состава Pt + 10% Rh + 0,5% ThO₂, сохраняя хорошую пластичность, имеет длительную (100-часовую) прочность более 2 кгс/мм² при т-ре 1250° С, около 1,8 кгс/мм² при т-ре 1350° С и около 1,2 кгс/мм² при т-ре 1460° С, что в три-пять раз выше, чем у обычной проволоки состава Pt + 10% Rh. Осн. область применения платиновых Д. м. — хим. пром-сть и произ-во стекловолокна. С в и н ц о в ы е Д. м. содержат в качестве упрочняющей фазы окисел свинца. Темп увеличения прочности составляет примерно 0,5—0,6 кгс/мм² на 1% окисла. При содержании 6% PbO предел прочности составляет 5,5—6 кгс/мм² при т-ре 20° С, 5 кгс/мм² при т-ре 100° С, 1,5 кгс/мм² при т-ре 200° С и 0,5 кгс/мм² при т-ре 300° С. Таким образом, прочность Д. м. при т-ре 200° С (0,8 $\sigma_{пл}$) та же, что и прочность чистого свинца при комнатной т-ре. На тонких лентах получены значения длительной (100-часовой) прочности до 1,5 кгс/мм² при т-ре 150° С и до 0,7 кгс/мм² при т-ре 200° С. Свинцовые Д. м., обладающие повышенной усталостной прочностью и хорошей коррозионной стойкостью, используют в ядерной технике, хим. пром-сти, для изготовления пластин аккумуляторов и обо-

Таблица 8. Прочность и относительное удлинение платинового дисперсноупрочненного материала

σ_B , кгс/мм ²					
25° С	400° С	600° С	800° С	1000° С	1100° С
38	37,5	28,5	19	12	9,5
δ , %					
25° С	400° С	600° С	800° С	1000° С	1100° С
3	3	3	6,5	9	13

Д И С П Е Р С Н О У П Р О Ч Н Е Н Н Ы Е М А Т Е Р И А Л Ы

лочек высоковольтных кабелей. В жаропрочных Д. м. на основе серебра в качестве упрочняющей фазы используют тугоплавкие окислы (обычно окисл алюминия). У Д. м., содержащего 1% Al₂O₃, предел прочности при комнатной т-ре 35 кгс/мм², относительное удлинение до 20%. Электропроводность такого Д. м. не ниже 0,9 электропроводности чистого серебра. Длительная (100-часовая) прочность составляет 14 кгс/мм² при т-ре 400° С и 10 кгс/мм² при т-ре 500° С. В контактных Д. м. на основе серебра в качестве упрочняющей фазы, повышающей эрозионную стойкость, используют окислы кадмия и меди. Контакты из таких Д. м. применяют в электротехнике. Для получения Д. м. на основе урана, помимо его окисла, используют окислы др. металлов (чаще всего окисл алюминия). При комнатной т-ре у таких Д. м. предел прочности 80—85 кгс/мм², предел текучести 46—52 кгс/мм², относительное удлинение до 20%. Если у обычного горячекатаного урана скорость ползучести 10—3%/ч при т-ре 500° С под напряжением 2,9 кгс/мм² и при т-ре 600° С под напряжением 0,85 кгс/мм², то Д. м. состава U + 7,5% UO₂ при указанных т-рах имеет ту же скорость ползучести под напряжениями соответственно 11,9 и 8,4 кгс/мм². Ценными свойствами урановых Д. м. является повышенная размерная стабильность при альфа \leftrightarrow бета-превращениях, а также повышенная радиационная стойкость, что уменьшает вероятность распухания тепловыделяющих элементов при эксплуатации в ядерном реакторе. Наилучший упрочнитель Д. м. на основе хрома — окисл магния, наличие которой сдвигает порог хрупкости в область минусовых т-р. По сопротивлению ползучести при высоких т-рах такие Д. м. не имеют преимуществ перед сложнелегированными сплавами хрома, однако эти сплавы хрупки при комнатной т-ре, их труднее обрабатывать. Д. м. на основе хрома, отличающиеся высокой жаростойкостью и эрозионной стойкостью, используют в авиационной технике. У ц и н о в ы х Д. м., упрочняе-

мых окислом цинка, предел прочности при комнатной т-ре до 40 кгс/мм^2 , относительное удлинение до 20—25%. При напряжении 18 кгс/мм^2 , что превышает предел прочности чистого цинка, у таких Д. м. скорость ползучести не превышает $1\%/год$. Цинковые Д. м. отличаются меньшей *анизотропией* св-в, чем обычные сплавы цинка. В *циркониевых* Д. м. упрочняющая фаза — окислы ThO_2 или Y_2O_3 . При т-ре 650°C предел прочности таких Д. м. в два-три раза больше, чем чистого циркония. Одновременно значительно уменьшается скорость ползучести. Циркониевые Д. м. используют в реакторостроении.

Лит.: Шеламов В. А., Литвинцев А. И. Физико-химические основы производства полуфабрикатов из спеченных алюминиевых порошков. М., 1970; Портной К. И., Бабич Б. Н. Дисперсноупрочненные материалы. М., 1974. Б. Н. Бабич, К. И. Портной.

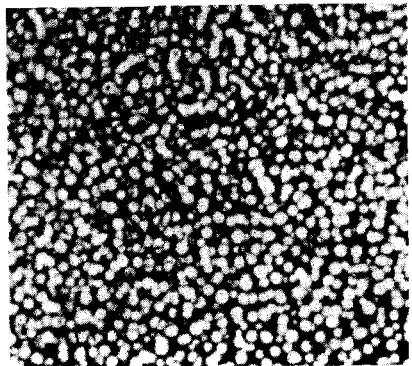
ДИСПЕРСНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ — включения твердых, жидких или газообразных частиц различной дисперсности в матричной (основной) среде. Д. в. получают: измельчением диспергируемого вещества в матричной среде с добавкой стабилизаторов, конденсацией из пересыщенного раствора или из переохлажденного расплава, эвтектической *кристаллизацией*, при старении сплавов (рис.), методом внутреннего *окисления* или методом порошковой металлургии. Св-ва Д. в. зависят от степени дисперсности частиц, энергии их взаимодействия с матричной средой, от природы включений. В простейшем случае — у монодисперсных систем, частицы которых близки или одинаковы по размеру, степень дисперсности определяется отношением поверхности частицы к ее объему. Дисперсность полидисперсных систем характеризуется функцией распределения объема (или массы) частиц по их размерам. В зависимости от размеров Д. в. подразделяют на грубо(низко)дисперсные ($> 10^{-5} \text{ см}$) и тонко(высоко)дисперсные ($10^{-5} - 10^{-7} \text{ см}$) — коллоидные системы. В коллоидных системах Д. в. могут связывать молекулы или ионы матричной среды, образуя сольватные

оболочки — *лиофильные* включения (см. *Лиофильность*), или не взаимодействовать со средой, образуя *лиофобные* включения (см. *Лиофобность*). В этом случае частицы приобретают электр. заряды, различные по величине и одинаковые по знаку, что влияет на многие св-ва коллоидных систем, напр. повышает их устойчивость. Форма включений может быть сферической, диско- или иглообразной. При распаде пересыщенного *твердого раствора* форма ориентация частиц новой фазы относительно решетки матричной среды определяются минимумом *поверхностной энергии* и энергии внутренних напряжений, возникающих при образовании зародышей новой фазы в твердой среде. Д. в. обладают большим избытком поверхностной энергии, обуславливающим их термодинамическую неустойчивость, вследствие чего может самопроизвольно происходить укрупнение частиц, ведущее к уменьшению поверхности раздела между включениями и матричной средой. Выделение дисперсных частиц способствует значительному *упрочнению* матричной среды (см. *Стареющие сплавы*). Для создания *дисперсноупрочненных материалов* в качестве Д. в. используют тугоплавкие соединения — *окислы, нитриды, карбиды, бориды*, интерметаллические соединения.

Лит.: Наука о коллоидах, т. 1. Пер. с англ. М., 1955; Келли А., Никлсон Р. Дисперсионное твердение. Пер. с англ. М., 1966; Физическое металловедение, в. 3. Пер. с англ. М., 1968.

К. В. Чуистов.

Дисперсные включения Al_3Li в состаренном сплаве $\text{Al} - 2,85\% \text{ Li}$, $\times 24\,000$.



ДИСПРОЗИЙ (Dysprosium; от греч. δυσπρόσιτος — труднодоступный), Dy — хим. элемент III группы периодической системы элементов; ат. н. 66, ат. м. 162,50; относится к редкоземельным элементам. Металл светло-серого цвета с металлическим блеском, на воздухе тускнеет. В соединениях проявляет степень окисления +3. Известны изотопы с массовыми числами от 149 до 166, из них стабильны изотопы с массовыми числами 156, 158, 160, 161, 162, 163 и 164. Открыт в 1886 франц. химиком П.-Э. Лекоком де Буабодраном. Содержание в земной коре $4,5 \cdot 10^{-4}\%$. Пром. минералами для получения Д. служат монацит, ксенотим и эвксенит. Д. полиморфен, т-ра полиморфного превращения 1380°C . Кристаллическая решетка низкотемпературной модификации Д. — гексагональная плотноупакованная типа магния, с периодами $a = 3,5923 \text{ \AA}$ и $c = 5,6475 \text{ \AA}$; плотность $8,54 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 1407^\circ\text{C}$; $t_{\text{кип}} 2335^\circ\text{C}$; коэфф. термического расширения $10 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; теплоемкость $6,58 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$; электрическое сопротивление $91,2 \text{ мком} \cdot \text{см}$; Кюри точка — 169°C (104 K); сечение захвата тепловых нейтронов 1000 барн ; работа выхода электронов $3,09 \text{ эв}$; модуль норм. упругости (модуль Юнга) 6433 кгс/мм^2 ; предел прочности $26,8 \text{ кгс/мм}^2$; $HV = 42$; удлинение 6%. Легко поддается мех. обработке. Д. — химически активен; при высоких т-рах взаимодействует с кислородом, галогенами, азотом, серой и др. неметаллами. При длительном хранении на воздухе окисляется. Сплавляется со мн. металлами; плавят его в инертной среде или в вакууме. Образует сплавы и соединения с большинством хим. элементов. Получают Д. металлотермическим восстановлением. Окислы Д. перерабатывают во фторид, затем восстанавливают кальцием и дистиллируют для получения чистого металла. Выпускают Д. в виде небольших слитков. В лабораторных условиях освоено получение монокристаллов Д., его сплавов с др. редкоземельными элементами. Чистый Д. применяют для исследовательских целей. В сплавах с железом, никелем, медью

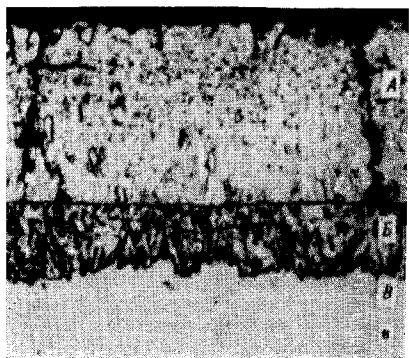
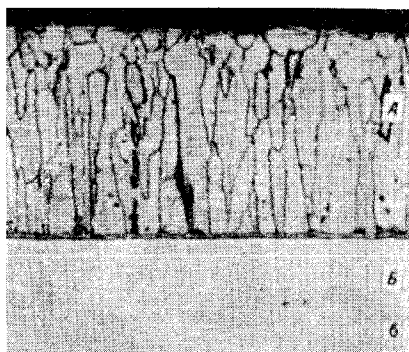
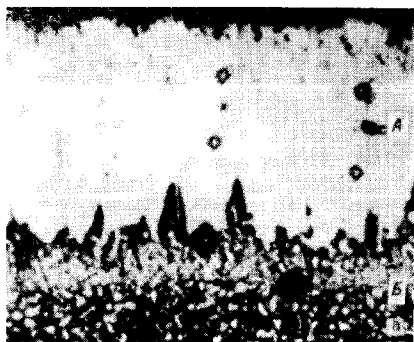
и алюминием используют в качестве магнитного материала. Окислы Д. применяют как огнеупорные керамические материалы, для окраски стекла в желтый цвет.

Лит.: Диогенов Г. Г. История открытия химических элементов. М., 1960; Савицкий Е. М., Терехова В. Ф. Металловедение редкоземельных металлов. М., 1975. В. Ф. Терехова.

ДИФфуЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ (от лат. diffusio — распространение) — покрытия, создаваемые диффузионным насыщением поверхности изделий одним или несколькими хим. элементами; вид защитных покрытий. Д. п. наносят на металлические, реже — на неметаллические поверхности (напр., графит). Отличаются от материала основы хим. составом, структурой и св-вами. Варьируя диффундирующими элементами и режимами насыщения, можно на одном и том же материале основы в широких пределах менять состав, структуру и св-ва покрытий. Процессы диффузионного насыщения (см. Диффузия) получают название, как правило, по диффундирующим элементам: азотирование, науглероживание (карбидизация или цементация для сталей), борирование, силицирование, хромирование и т. п. Соответственно Д. п. наз. нитридными, карбидными, боридными (рис., а на с. 384), силицидными (рис., б), хромовыми и т. д. Используют покрытия, образующиеся при насыщении материала основы, одновременно или последовательно, двумя и большим количеством элементов, напр. азотом и углеродом (нитроцементация), хромом и алюминием (хромоалитирование), бором и кремнием (боросилицирование) (рис., в), серой, углеродом и азотом (сульфоцианирование). Такие покрытия наз. комплексными, или многокомпонентными. По физико-хим. состоянию насыщающей среды различают диффузионное насыщение твердо-, жидко-, паро- и газофазное. Наиболее широко применяют жидко- и газофазное насыщение. Жидкофазное часто используют при цинковании, алитировании, борировании и нитроцементации, газофазное — при хромировании, цементации и силицировании. Нередко

один и тот же процесс (напр., борирование, силицирование) осуществляют разными способами. Так, для газофазного насыщения довольно часто используют порошковую смесь нужного состава. Эта смесь служит насыщающей средой, а перенос диффундирующего элемента к насыщаемой поверхности (и образование покрытий при взаимодействии с материалом основы) происходит через газовую фазу (см. *Газофазные покрытия*). Осн. компоненты порошковой смеси: активная составляющая, содержащая диффундирующий элемент (порошки чистых элементов, их сплавов и хим. соединений); инертный наполнитель (напр., порошок тугоплавкого инертного окисла) и активатор (обычно галоген- или кислородсодержащие вещества, разлагающиеся при т-ре ниже т-ры насыщения). Использование порошковой смеси дает возможность насыщать поверхность изделий практически любым хим. элементом. Если процесс ведут в герметичных контейнерах с плавким затвором, это обеспечивает наиболее высокую скорость увеличения толщины покрытия, хорошее его качество. При всех способах скорость образования и увеличения толщины покрытий, их структура, фазовый и хим. состав, эксплуатационные св-ва определяются активностью насыщающей среды, т-рой и продолжительностью насыщения, условиями охлаждения или термообработки после насыщения, хим. составом материала основы. Т-ра и продолжительность образования покрытий изменяются в широких пределах в зависимости от материала основы, диффундирующих элементов, от назначения покрытия и предполагаемых условий его эксплуатации. Обычно диффузионное насыщение сталей, чугунов и цветных тугоплавких сплавов проводят при т-ре 500—1100°С и выдержке от 1 до 12 ч. Толщина полученных таким способом покры-

тий — от тысячных долей до 0,5—1,5 мм. Жаропрочные сплавы на основе никеля, кобальта и хрома, тугоплавкие переходные металлы IVa—VIa подгрупп периодической системы элементов насыщают при т-ре 900—1200°С в течение 1—16 ч, обеспечивая получение покрытий толщиной от тысячных до десятых долей миллиметра. Д. п. по сравнению с др. типами покрытий отличаются высо-



Микроструктура диффузионных покрытий: а — боридное покрытие (А) на стали марки ХВГ (В); б — силицидное покрытие (А — MoSi_2) на молибдене (В); а — боросилицидное покрытие (А — NbSi_2 , В — NbB_2) на ниобии (В), $\times 300$.

ой сплошной (практически 100%-ной), значительной чистотой поверхности (7—8-го классов), высокой прочностью сцепления с материалом основы; равномерностью по толщине. Д. п. наносят на рабочие поверхности изделий, чтобы защитить от износа, усталостного разрушения, окисления под воздействием жидких и газовых агрессивных сред. Обычно создают покрытия, защищающие рабочую поверхность от какого-либо одного, главного вида разрушения. Так, насыщение азотом, углеродом и бором позволяет получить покрытия, существенно повышающие *износостойкость* поверхности в различных условиях эксплуатации. Этими элементами насыщают мн. конструкционные и инструментальные стали, тугоплавкие металлы и сплавы, из к-рых изготавливают пестерни, кулачки, втулки, коленчатые валы, детали насосов, дизелей, авиадвигателей, турбин, парогазовой арматуры, приборов и др. Д. п. наносят на матрицы штампов для горячего и холодного объемного деформирования металла, волокна и фильеры, пуансоны, вставки пресс-форм для литья под давлением цветных сплавов, пресс-формы для прессования порошков, пластмасс и пр. Диффузионное хромирование, силицирование, алитирование и многокомпонентное насыщение используют гл. обр. для повышения *жаростойкости* и *коррозионной стойкости* лопаток газовых турбин, клапанов, деталей паровой и топливной арматуры, камер сгорания, сопел ракет и т. п. изделий.

Д. п. повышают срок службы и надежность эксплуатации машин и механизмов, позволяют заменять дорогостоящие и дефицитные материалы более дешевыми, снижают металлоемкость. Среди различных типов защитных покрытий Д. п. на металлических материалах занимают ведущее место.

Лит.: Дубинин Г. Н. Диффузионное хромирование сплавов. М., 1964; Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М., 1965; Глухов В. П. Боридные покрытия на железе и сталях. К., 1970; Силицирование металлов и сплавов. Минск, 1972; Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. М., 1973; Многокомпонентные диффузионные покрытия. Минск, 1974. А. П. Эпик.

ДИФФУЗИЯ (лат. diffusio — распространение, растекание) — в общем случае самопроизвольное перемещение атомов или молекул (молекулярная Д.) или микроскопических частиц (броуновское движение) в газах, жидкостях или твердых телах. Явление Д. — прямое следствие теплового движения атомов системы. При постоянной т-ре в отсутствие разности хим. потенциалов в пределах системы диффузионное перемещение осуществляется неупорядоченно (самодиффузия). Разность хим. потенциалов может определить направление преимущественного перемещения, т. е. направленный диффузионный поток. В изотермических условиях разность хим. потенциалов может быть обусловлена неоднородностью распределения концентрации компонентов системы, а в твердых телах — градиентом упругих напряжений, наличием *дефектов в кристаллах* и др. Диффузионный поток в двухкомпонентной системе, обусловленный разностью концентрации компонентов, описывается законами Фика. 1-й закон имеет вид

$$J_i = -D_i \frac{dC_i}{dx}, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

где J_i , D_i , C_i — соответственно диффузионный поток в системе, коэфф. диффузии и концентрация i -го компонента; x — координата. 2-й закон:

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{d}{dx} \left[D_i \frac{dC_i}{dx} \right], \quad (2)$$

где t — время. В тех или иных многокомпонентных системах диффузионный поток описывается более сложными ур-ниями, в к-рых учтена взаимосвязь между диффузионными потоками различных компонентов системы. Коэфф. диффузии и характер его температурной зависимости определяются механизмом элементарного перемещения диффундирующих атомов. Д. в газах происходит путем случайных столкновений между молекулами; частота столкновений зависит от ср. скорости теплового движения \bar{v} и длины свободного пробега λ . Коэфф. само-

диффузии в газах определяется соотношением

$$D = \frac{\bar{v}}{3} \lambda = \frac{\bar{v}}{3} \cdot \frac{kT}{V \sqrt{2} \pi d^2 p_0} \quad (3)$$

где k — постоянная Больцмана; T — абс. т-ра; d — эффективный диаметр молекул; p_0 — давление газа. Зависимость коэфф. диффузии от давления имеет вид $D \sim \frac{1}{p_0}$, а от

т-ры при пост. объеме газа $D \sim T^{3/2}$ и при постоянном давлении $D \sim T^{3/2}$. Измерения и расчеты коэфф. диффузии одноатомных газов при давлении 760 мм рт. ст. и абс. т-ре $T = 273$ К свидетельствуют о том, что $D \sim 1 \div 0,1$ см²/сек. Д. в жидкостях происходит в виде элементарных актов — термически активированных случайных событий. В связи с этим температурная зависимость (3) выражается экспоненциальным законом

$$D = D_0 \exp \left[-\frac{E}{kT} \right] \quad (4)$$

где D_0 — предэкспоненциальный множитель; E — энергия активации процесса, т. е. величина энергетического барьера, преодолеваемого при элементарном диффузионном акте. В связи с отсутствием дальнего порядка в расположении атомов жидкостей величина E мала по сравнению с энергией связи атомов; в разных жидкостях она принимает значение $1 \div 10$ ккал/г-атом; величина D_0 составляет $1 \div 10^{-4}$ см²/сек. При Д. в твердых телах элементарный диффузионный акт существенно определяется наличием дальнего порядка в расположении атомов. Принципиально возможны след. механизмы диффузионного перемещения атома: переход атома из позиции, в к-рой он находится, в соседнюю свободную позицию — *вакансию*; взаимный обмен положениями двух атомов, находящихся в соседних позициях; перемещение атомов в междоузлиях; одновременное перемещение нескольких атомов по замкнутому контуру. Реализация каждого из этих механизмов опреде-

ляется структурой кристалла (см. Кристаллическая структура) и физ. характеристиками диффундирующего атома. В плотноупакованных структурах часто осуществляется первый из этих механизмов — вакансионный, а если объем диффундирующего атома невелик, — междоузельный. Поскольку элементарный диффузионный акт является термически активированным, температурная зависимость коэфф. самодиффузии определяется соотношением (4). В однокомпонентных структурах самодиффузионное перемещение атомов характеризуется энергией активации процесса, сравнимой с энергией *сублимации*. Наличие дефектов структуры реального кристаллического тела типа *дислокаций*, *межзеренных границ* (см. Границы зерен), дефектов упаковки, свободных поверхностей и др. может привести к увеличению диффузионной проницаемости, так как диффузионная подвижность атомов вдоль дефектов повышена сравнительно с подвижностью в бездефектном объеме кристалла. Броуновская (неупорядоченная) диффузионная миграция микроскопических сферических частиц посторонней фазы в объеме жидкости определяется коэфф. са-

модиффузии $D_B = \frac{kT}{6\eta r}$, где η — коэфф. вязкости жидкости; r — радиус частицы. В кристаллическом теле броуновская миграция частиц определяется коэфф. самодиффузии $D_B = \bar{D} \left(\frac{a}{r} \right)^3$, где \bar{D} — коэфф.

самодиффузии в кристалле; a — межатомное расстояние. $\bar{D} = D_0$, если перенос вещества в пределах частицы происходит механизмом объемной диффузии, и $\bar{D} = D_r$ — механизмом граничной диффузии (D_0 и D_r — коэффициенты соответственно объемной самодиффузии и самодиффузии вдоль границы раздела частица — матрица). При взаимной Д. между соприкасающимися, взаимно растворимыми твердыми телами А и В встречные диффузионные потоки $J_{A \rightarrow B}$ и $J_{B \rightarrow A}$, как правило, различны по мощности вследствие отличия соответствующих

диффузии коэфф. $D_{A \rightarrow B}$ и $D_{B \rightarrow A}$. Это обстоятельство приводит к тому, что при вакансионном механизме Д. в том из компонентов пары, из которой поток больше, возникают избыточные вакансии, а в другом компоненте — «избыточные» атомы. Релаксация этих признаков неравновесности системы приводит к двум эффектам: образованию пор в двой области диффузионной пары, где вакансии в избытке (эффект Френкеля), и перемещению исходной границы контакта между образцами по направлению к области, обогащенной вакансиями (эффект Киркендалла). Происходящее в связи с этим смещение плоскости исходного контакта протекает со скоростью $v = (D_{A \rightarrow B} - D_{B \rightarrow A}) \times$

$\times \frac{dC_A}{dx}$. Будучи следствием одной и той же причины, эффекты Френкеля и Киркендалла являются взаимно-конкурирующими и могут быть разделены, в частности, в экспериментах, проводимых под небольшим давлением, затрудняющим проявление эффекта Френкеля. Направленный диффузионный поток может осуществляться под влиянием внешнего электр. поля. В кристаллах с ионным типом связи, где носителями вещества и зарядов являются одни и те же структурные элементы — ионы, коэфф. диффузии D и коэфф. электр. проводимости σ связаны соотношением Нернста — Эйнштейна

$$\frac{\sigma}{D} = \frac{ne^2}{kT} \quad (5)$$

где n — плотность носителей заряда; e — элементарный заряд. В металлах, где носители заряда (электроны) и вещества (ионы) не совпадают, направленный диффузионный поток ионов обусловлен потоком электронов, к-рые, передавая свой импульс ионам, определяют их направленное перемещение. В твердых телах с малой энергией связи и соответственно большой амплитудой нулевых колебаний может наблюдаться квантовая Д., при к-рой диффузионное перемещение является следствием подбарьерного квантового туннелирования. Как это следует из теории,

вблизи абс. нуля коэфф. Д. с понижением т-ры может быстро возрастать в связи с тем, что уменьшение плотности фононного газа приводит к уменьшению вероятности рассеяния диффундирующих частиц на фононах. Экспериментально квантовая диффузия наблюдалась в опытах по Д. изотопа ^3He в кристаллах ^4He . В неизотермических условиях в системе может происходить термодиффузия, обусловленная наличием градиента т-ры в смеси газов, в жидком или твердом растворе. Термодиффузия приводит к нарушению исходной однородности системы, обуславливая отличие концентраций компонентов в областях с различной т-рой. При пост. градиенте т-ры в системе устанавливается стационарный градиент концентрации. В двухкомпонентной системе диффузионный поток, обусловленный градиентом концентрации и градиентом т-ры, определяется ур-нием

$$J_i = -D_i \nabla C_i - D_T \frac{\nabla T}{T} = -D_i \left(\nabla C_i + \frac{D_T}{D_i} \frac{\nabla T}{T} \right), \quad (6)$$

откуда следует, что в стационарных условиях, когда $J_i = 0$, имеем

$$(\nabla C_i)^* = -\frac{D_T}{D_i} \nabla \ln T. \quad \text{Явление}$$

Д. в изотермических условиях и при наличии градиента т-ры широко используется в многочисленных технологических процессах — *адсорбции, цементации, диффузионной сварке материалов, диффузионной металлзации*. Для испарения и конденсации, растворения кристаллов и *кристаллизации* Д. оказывается обычно определяющей. Лит.: Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. М.—Л., 1945; Пинес Б. Я., Гегузин Я. Е. Самодиффузия и гетеродиффузия в неоднородных пористых телах. «Журнал технической физики», 1953, т. 23, в. 9; Герцрик Н. С. Д., Дехтяр И. Я. Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе. М., 1960; Гегузин Я. Е., Бойко Ю. И., Паричная Л. Н. Об экспериментальном разделении эффектов Френкеля и Киркендалла. «Доклады

АН СССР», 1967, т. 173, № 2; Андреев А. Ф., Лифшиц И. М. Квантовая теория дефектов в кристаллах. «Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1969, т. 56, в. 6; Шьюмон П. Диффузия в твердых телах. Пер. с англ. М., 1966. Я. Е. Гезузин.

ДИЭЛЕКТРИКИ (от греч. διά — сквозь) — то же, что и *электроизоляционные материалы*.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ — величина, характеризующая способность *электроизоляционных материалов* (диэлектриков) поляризоваться во внешнем электр. поле. Абсолютная Д. в. равна отношению поляризованности (электр. дипольного момента единицы объема диэлектрика) к напряженности электр. поля, поддерживающего диэлектрик в поляризованном состоянии. Для диэлектриков, обладающих спонтанной поляризацией (*сегнетоэлектрических материалов, электретов*), а также для нелинейных диэлектриков, у к-рых восприимчивость зависит от величины электр. поля, пользуются значением дифференциальной Д. в., равной производной от поляризованности по напряженности электр. поля при данной величине этого поля (обычно при близких к нулю его напряженностях). На практике используют относительную Д. в., равную отношению абс. восприимчивости к электр. постоянной (*диэлектрической проницаемости* вакуума, равной в системе СИ $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ ф/м). В системе СИ относительная Д. в. κ связана с относительной диэлектр. проницаемостью ϵ зависимостью $\kappa = \epsilon - 1$. Д. в. всегда положительна. Теоретически величину Д. в. можно вычислить лишь для материалов, состоящих из слабо взаимодействующих частиц (напр., для газов). В этом случае поляризованность $P = \alpha n E$ (α — поляризуемость каждой частицы; n — число частиц в единице объема; E — напряженность макроскопического электр. поля в диэлектрике), а относительная Д. в. $\kappa = \frac{P}{\epsilon_0 E} = \frac{\alpha n}{\epsilon_0}$. Если частицы диэлектрика взаимодействуют, то напряженность локального

электр. поля E_0 , действующего на каждую микрочастицу, отличается от напряженности внутри электр. поля в диэлектрике E . Так, для некоторых ковалентных кристаллов $E_0 = E + \frac{4\pi P}{3\epsilon_0}$, где $\frac{4\pi P}{3\epsilon_0}$ — т. н.

добавочное поле Лоренца. Для таких материалов связь между поляризуемостями частиц диэлектрика и Д. в. описывается ф-лой

$$\frac{\kappa}{\kappa + 1} = \frac{4\pi}{3} \sum_{j=1}^n n_j \alpha_j.$$

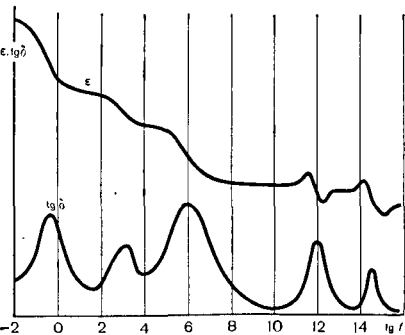
Для большинства материалов точный расчет локального поля связан со значительными трудностями вычисления. Д. в. большинства диэлектриков не превышает нескольких десятков единиц. Лишь у сегнетоэлектриков, параэлектриков типа смещения и типа порядок—беспорядок величина Д. в. достигает 10^4 единиц. Д. в. обычно рассчитывают по диэлектр. проницаемости.

Лит. см. к ст. *Диэлектрическая проницаемость*. В. А. Дубок.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ — 1) Диэлектрическая проницаемость материалов — величина, показывающая, во сколько раз напряженность электрического поля в *электроизоляционном материале* (диэлектрике) меньше напряженности внешнего электрического поля, в которое помещен диэлектрик. Обусловлена поляризацией диэлектрика. Абсолютная Д. п. линейных диэлектриков равна отношению электр. смещения (вектора электр. индукции) к напряженности в них электр. поля. На практике обычно пользуются относительной Д. п. ϵ , равной отношению абс. проницаемости к электр. постоянной ϵ_0 (Д. п. вакуума), равной в системе СИ $8,854 \times 10^{-12}$ ф/м. Относительную Д. п. определяют также как величину, показывающую, во сколько раз уменьшается сила взаимодействия электр. зарядов при переносе их из вакуума в диэлектрик или во сколько раз возрастает емкость вакуумного конденсатора при заполнении пространства между его пластинами диэлектриком. Относительная Д. п. всех материалов больше единицы. Д. п. изотропных материалов — скаляр, ани-

тропных материалов — тензор второго ранга. Зависимость Д. п. от частоты — комплексная функция вида $\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) - i\varepsilon''(\omega)$, где $\varepsilon'(\omega)$ и $\varepsilon''(\omega)$ — соответственно действительная и мнимая части Д. п. У диэлектриков $\varepsilon' \gg \varepsilon''$, поэтому обычно полагают, что $\varepsilon = \varepsilon'$. Величина Д. п. и ее зависимость от частоты, изменения электр. поля, т-ры исследуемого материала, давления на него и др. определяются природой поляризационных процессов в диэлектрике. Измеряемая Д. п. обычно является результатом наложения нескольких поляризационных процессов, различных по своей природе и времени установления. Различают упругую (деформационную), релаксационную (тепловую) и миграционную (объемнозарядную) поляризацию. Упругая поляризация представляет собой смещение заряженных частиц (электронов, ионов) или поворот мол. диполей относительно положения равновесия под действием внешнего электр. поля. Вследствие малости внешнего поля по сравнению с внутренними электр. полями в диэлектрике это смещение носит квазиупругий характер, а его величина, как правило, очень мала по сравнению с межатомным расстоянием. Время установления упругой поляризации близко к периоду собственных колебаний заряженных частиц ($10^{-16} - 10^{-17}$ сек — для упругой электронной и $10^{-12} - 10^{-13}$ сек — для упругой ионной и дипольной поляризации). Д. п., обусловленная упругой поляризацией, составляет

Зависимость диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь от частоты внешнего электрического поля.



обычно от 1,8 до 15 единиц. Для материалов с электронно-упругой поляризацией справедливо равенство $\varepsilon = n^2$, где n — показатель преломления видимого света. Релаксационная поляризация наблюдается в диэлектриках, содержащих слабо связанные заряженные частицы (электроны, ионы) или полярные молекулы, к-рые могут хаотически перемещаться в процессе теплового движения на расстояние порядка $10^{-8} - 10^{-7}$ см. Электр. поле вносит некоторое упорядочение в тепловое движение частиц, в результате чего объем кристалла приобретает дипольный момент. Время установления релаксационной поляризации уменьшается с ростом т-ры, изменяясь в очень широких пределах (от 10^{-10} до 10^8 сек). Различают несколько видов релаксационной поляризации. Электронно-релаксационная поляризация наблюдается в материалах (напр., в окислах титана, свинца, циркония, церия, танталах и ниобатах щелочных и щелочноземельных металлов), содержащих нестехиометрические либо примесные дефекты, вблизи к-рых локализованы электроны или дырки. Ионно-релаксационная поляризация играет осн. роль в твердых диэлектриках со значительным количеством структурных дефектов и примесных ионов — стекле, керамических материалах, ситаллах. Дипольно-релаксационная поляризация наблюдается в материалах, содержащих полярные молекулы (воде, неорганических к-тах в кристаллическом состоянии и др.). Д. п., обусловленная различными видами релаксационной поляризации, достигает нескольких сотен единиц. Миграционная поляризация наблюдается в диэлектриках, содержащих области с различным фазовым составом и различной кристаллической структурой (неоднородных диэлектриках), что обуславливает различие в величине или характере электропроводности этих областей. В этом случае при поляризации диэлектрика происходит накопление зарядов на границах его областей. Размеры этих областей могут достигать сотен микрометров,

поэтому вместо обычных представлений о Д. п. в данной точке диэлектрика рассматривают э ф ф е к т и в н у ю Д. п., относящуюся ко всему объему материала. Время установления миграционной поляризации — от 10^{-8} до 10^4 сек. Эффективная Д. п. диэлектриков с миграционной поляризацией достигает нескольких сотен единиц. В одном материале при разных частотах, как правило, наблюдаются различные виды поляризации (рис. на с. 389). Наибольшая Д. п. (до 10^4 — 10^5) характерна для сегнетоэлектрических материалов (напр., титаната бария), а также для параэлектриков типа смещения — ионных кристаллов, в к-рых внутреннее электр. поле совпадает по направлению с внешним, и поэтому при т-рах, близких к т-ре фазового перехода (обычно в пирро- или сегнетоэлектрическое состояние), возможны относительно большие смещения ионов из положений равновесия (напр., в титанате стронция). При т-рах, превышающих верхнюю границу области существования спонтанной поляризации, Д. п. параэлектриков смещения подчиняется закону Кюри — Вейса: $\epsilon = C / (T - \theta)$, где ϵ — Д. п. данного материала; C — постоянная, зависящая от природы материала; T — абс. т-ра; θ — т-ра Кюри. Малая Д. п. необходима для электроизоляционных и радиопро-

зрачных материалов; возможно большая и стабильная Д. п. — для материалов, используемых в конденсаторах различного типа (табл.). Материалы, у к-рых Д. п. зависит от т-ры, частоты, напряженности электр. поля и др. параметров, используют для изготовления датчиков т-ры, давления и т. п., а также активных элементов радиотехнических схем — преобразователей частоты, усилителей, генераторов и др. Методы измерения Д. п. на частотах ниже 10^8 — 10^9 гц основаны на сравнении емкости конденсатора с диэлектриком с емкостью такого же вакуумного либо воздушного конденсатора. В диапазоне частот от нуля до 10 гц емкость измеряют по току заряда или разряда конденсатора, на частотах 1 — 10^5 гц используют мосты переменного тока, а на частотах 10^4 — 10^8 гц, кроме того, резонансные методы. В диапазоне частот 10^9 — 10^{11} гц Д. п. вычисляют из измеренных характеристик цепей с распределенными параметрами — волноводов или объемных резонаторов, заполненных диэлектриком. См. также *Диэлектрическая восприимчивость*. Лит.: Сканиави Г. И. Физика диэлектриков (область слабых полей). М.—Л., 1949; Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов. М., 1973; Справочник по электротехническим материалам, т. 1. М., 1974; Поплавко Ю. М. Физика диэлектриков. К., 1972.

В. А. Дубож.

2) Диэлектрическая проницаемость минералов —

Относительная диэлектрическая проницаемость твердых электроизоляционных материалов

Материал	Диапазон частот электр. поля, гц	Относительная диэлектрическая проницаемость	Преобладающая поляризация
Стекло кварцевое	10^2 — 10^{10}	3,8	Электронно-упругая
Нитрид бора	10^4 — 10^{10}	4,5	Электронно-упругая
Фторид кальция (флюорит)	10^4 — 10^{10}	6,7	Электронно- и ионно-упругая
Слюда	10^6 — 10^8	5,7—8,0	Ионно-упругая
Оксид магния (шерилаз)	10^4 — 10^{10}	9,65	Ионно-упругая
Оксид алюминия (лейкосапфир)	10^4 — 10^{10}	9,9	Ионно-упругая
Двуокись титана	10^4 — 10^7	90	Электронно-релаксационная
Титанат кальция	10^6	130	Параэлектрик смещения
Титанат бария	10^3 — 10^8	4000	Сегнетоэлектрик

еличина, показывающая, во сколько раз напряженность электрического поля в минерале меньше напряженности внешнего электрического поля, в которое помещен минерал. Обусловлена поляризацией минерала. Численно равна отношению емкости конденсатора, заполненного минералом, к емкости пустого конденсатора. Д. п. большинства минералов с ионно-ковалентными связями находится в пределах от 3 до 12. Определяется в основном сравнением емкостей конденсаторов, зависит от хим. состава минерала, наличия посторонних примесей и включений, степени *гигроскопичности* и даже от величины его зерен. Состояние хим. связи в ионно-ковалентных минералах оказывает осн. влияние на Д. п. (ε), постепенно возрастающую с увеличением степени ковалентности. Это возрастание вызывается увеличением электронной электропроводности минералов, обусловленной повышением плотности электронов в межатомном пространстве. У более ковалентных минералов хлораргирита AgCl (ε = 12,3) и бромаргирита AgBr (ε = 13,1) Д. п. заметно выше, чем у близких к ним по межатомным расстояниям галита NaCl (ε = 5,6) и бромида натрия (ε = 6,3). Аналогичны изменения Д. п. у *кальцита* и *магнезита*, *витерита* и *арагонита*, *сфалерита* и *киновари*. С повышением валентности Д. п. увеличивается, тем более, что вместе с этим увеличивается обычно и степень ковалент-

ности. Так, Д. п. касситерита SnO₂ равна 24,0, а платтнерита PbO₂ — 26,0. Однако этот эффект часто нейтрализуется в результате понижения координационного числа и увеличения рыхлости структуры минерала, что приводит иногда даже к уменьшению Д. п. (напр., у *алмаза*, *кварца*, *полевых шпатов*) по сравнению с соединениями одновалентных атомов. Д. п. минералов, содержащих элементы переходных групп или элементы с пониженной валентностью (с электронной оболочкой типа двухвалентного свинца 18 + 2), но с высокой степенью ковалентности, велика. Так, у HgCl₂ проницаемость равна 14, а у PbCl₂ составляет 35,2. Д. п. кислородных соединений переходных элементов (особенно четырехвалентного титана, трехвалентных хрома и железа) высока. С переходом к соединениям с заметной долей металлической связи (магнетиту, пирротину, *молибдениту*, *никелину* и др.) Д. п. резко возрастает до 50 и выше. Повышение координационного числа катиона увеличивает Д. п. (напр., у *кальцита* координационное число кальция равно 6, а проницаемость 6,36, у *арагонита* соответственно 9 и 7,44). Д. п. кристаллогидратов заметно ниже, чем Д. п. их безводных аналогов, хотя проницаемость чистой воды высока. Д. п. минер. агрегатов обычно больше Д. п.

Диэлектрическая проницаемость горных пород

Порода	Диэлектрическая проницаемость					
	Частота внешнего электрического поля, кГц					
	10 ⁻¹	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴
Осадочные породы						
Песчаник граувакковый	11,6	8,78	7,37	6,59	6,12	5,81
Каолинит сухой	7,65	6,32	5,42	4,85	4,55	4,49
Песчаник кварцитовый	5,65	5,33	5,19	5,02	4,88	4,72
Изверженные породы						
Анортозит	167,0	73,0	25,0	10,9	9,93	9,03
Диабаз сухой	23,5	15,5	12,3	10,5	9,09	8,50
Габбро сухой	15,0	11,5	10,2	9,65	9,12	8,78
Дунит сухой	10,0	8,47	7,83	7,60	7,37	7,13
Метаморфические породы						
Аргиллит сухой	11,9	10,4	9,22	8,65	8,30	7,97
Гнейс сухой	9,73	9,13	8,78	8,50	8,23	8,07

составляющих их минер. индивидов, хотя в связи с повышением *пористости* следовало ожидать обратного эффекта. Подобное обстоятельство объясняется наличием гигроскопической воды, значительно повышающей проницаемость минеральных агрегатов, особенно коллоидно-дисперсных.

Вследствие этого Д. п. *каолинита*, *гarnиерита*, *глауконита*, *вермикулита* и большинства др. типичных коллоидно-дисперсных минер. тел, обладающих гидрофильной природой индивидов, отличается значительной величиной. Изменение Д. п. гидрофильных минер. индивидов обусловлено преим. естественной поверхностной влажностью. Чтобы получить истинные значения, прибегают к измерению Д. п. «сухих» минералов (обычно минералы прогревают при t -ре $110-120^{\circ}\text{C}$). В то же время Д. п. гидрофобных минер. агрегатов, подобно аморфной сере, существенно не отличается от среднего значения Д. п. минер. индивидов. В общем случае Д. п. зависит от частоты электр. поля, в к-рое помещают минерал. В оптической области частот Д. п. равна квадрату показателя преломления света в минерале лишь для электронной поляризации. Следовательно, Д. п. связана с симметрией кристаллической структуры минералов, характеризующихся в зависимости от структурного мотива положительной или отрицательной индикатрисой проницаемости, оси к-рой в большинстве случаев совпадают с осями оптической индикатрисы. Д. п. используют для отделения минералов (*доломита* от *кальцита* и *магнезита*, *кварца* от *каолина*, *турмалина* от *граната* и др.) в шлихах и концентратах, когда др. методы (по *плотности* или с помощью магн. сепарации) неприменимы или экономически невыгодны.

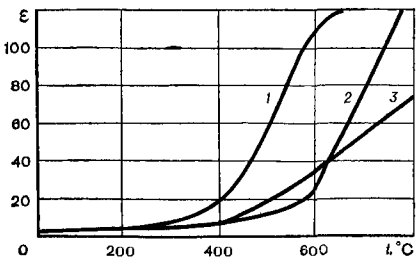
Лит.: Рожкова Е. В., Проскуровский Л. В. Определение диэлектрической проницаемости минералов и их диэлектрическая сепарация. В кн.: Современные методы минералогического исследования горных пород, руд и минералов. М., 1957; Поваренных А. С. О диэлектрической проницаемости минералов. «Сборник научных трудов Криворожского горнорудного института», 1960, в. 8.

А. С. Поваренных.

З) Диэлектрическая проницаемость горных пород — величина, показывающая, во сколько раз напряженность электрического поля в горной породе меньше напряженности внешнего электрического поля, в которое помещена порода. Обусловлена поляризацией породы. Численно равна отношению емкости конденсатора, заполненного породой, к емкости пустого конденсатора. Если внешнее электр. поле переменное, между дипольным моментом единицы объема породы и напряженностью поля наблюдается сдвиг фаз, что ведет к появлению *диэлектрических потерь*. В этом случае Д. п. является комплексной величиной, причем диэлектр. потери пропорциональны ее мнимой части. С увеличением частоты поля Д. п. уменьшается (табл. с. 394). Давление заметно увеличивает Д. п. Наибольшее изменение Д. п. приходится на диапазон давлений до $0,5$ *кбар*. При всестороннем давлении до 5 *кбар* Д. п. увеличивается на $19-30\%$. Д. п. сохраняет постоянное значение в сравнительно большом интервале t -р, резко увеличиваясь при t -ре $250-600^{\circ}\text{C}$, а у нек-рых пород при t -ре $300-600^{\circ}\text{C}$ (рис.). T -ра не влияет на зависимость Д. п. от давления, но при высоких T -рах (более $300-400^{\circ}\text{C}$) Д. п. с увеличением давления растет немного больше, чем при низких. Влажность также значительно влияет на проницаемость. Д. п. высушенных пород или пород, содержащих немного влаги, с повышением давления увеличивается, тогда как Д. п. влажных горных пород (влажность $> 1\%$) уменьшается.

Лит.: Сканин Г. И. Физика диэлектриков (область слабых полей). М.—

Зависимость диэлектрической проницаемости песчаника (1), кварцита (2) и жильного кварца (3) от температуры.



1949; Кобранова В. Н. Физические свойства горных пород. М., 1962; Пархоменко Э. И. Электрические свойства горных пород. М., 1965; Справочник физических констант горных пород. Пер. с англ. М., 1969. С. И. Шенель.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ — часть энергии электрического поля, превращающаяся в объеме *электроизоляционного материала* (диэлектрика) в тепловую. В постоянном поле диэлектрик нагревается токами сквозной *электропроводности*; мощность Д. п. в единице объема диэлектрика вычисляют по ф-ле $P = E^2\sigma$, где P — мощность Д. п., вт/см^2 ; E — напряженность электр. поля, в/см ; σ — удельная электропроводность, $\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. В диэлектрике, помещенном в переменное электр. поле, в тепловую переходит также энергия, затраченная на установление электронно-релаксационной, ионно-релаксационной и др. видов релаксационной поляризации (релаксационные Д. п.), а в неоднородном диэлектрике, кроме того, энергия, затраченная на перенос зарядов к внутренним границам между различными фазами (миграционные Д. п.). Если заряженные частицы или диполи в диэлектрике связаны между собой квазиупругими силами (деформационные либо упругие механизмы поляризации), то значительное рассеяние энергии происходит только при совпадении частоты электромагнитного поля с собственной частотой колебаний частиц (резонансные Д. п.). Вектор плотности тока, проходящего через диэлектрик с Д. п., имеет реактивную составляющую $J_p = \epsilon' \epsilon_0 E$, сдвинутую по фазе относительно поля на 90° , и активную составляющую $J_a = \epsilon'' \epsilon_0 E$, совпадающую по фазе с полем. Эдс ϵ' и ϵ'' — соответственно действительная и мнимая компоненты комплексной относительной *диэлектрической проницаемости* $\epsilon = \epsilon'(\omega) - i\epsilon''(\omega)$, где ϵ_0 — электр. постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума, равная в системе СИ $8,854 \times 10^{-12}$ ф/м); ω — круговая частота электр. поля, имеющего напряженность E . Д. п. характеризуют величиной тангенса угла потерь

$\text{tg } \delta = \frac{J_a}{J_p} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$, где δ — угол между вектором полного тока, проходя-

щего через диэлектрик, и вектором его реактивной составляющей. Плотность мощности Д. п. в диэлектрике, помещенном в однородное поле, $P = E^2 \omega \epsilon_0 \text{tg } \delta$. Зависимость $\text{tg } \delta$ от частоты электр. поля, т-ры диэлектрика и др. определяется природой поляризационных процессов в диэлектрике. Релаксационные и миграционные Д. п. возрастают при приближении к частоте, для к-рой справедливо равенство $\omega\tau = 1$, где τ — время установления поляризации. Широкие максимумы релаксационных Д. п. обычно наблюдаются в области звуковых или радиочастот (10^1 — 10^{10} гц), занимая от двух до четырех порядков полосы частот. При нагреве диэлектрика максимум релаксационных Д. п. смещается к более высоким частотам из-за уменьшения τ . Резонансные потери занимают, как правило, узкую область частот, не зависящую от т-ры. У кристаллов с ионно-упругой и дипольно-упругой поляризацией резонансные потери наблюдаются в инфракрасной области спектра (10^{11} — 10^{13} гц), у кристаллов с электронно-упругой поляризацией — в ультрафиолетовой области спектра (10^{15} — 10^{16} гц). Область частот, при к-рых тангенс угла потерь становится максимальным, существенно расширяется, если в кристаллах возможны процессы поляризации с близкими временами *релаксации* либо с близкими частотами собственных колебаний заряженных частиц. Такое явление характерно для *стекла, ситаллов и керамических материалов*, содержащих стеклофазу, а также для сильно дефектных кристаллов. Частотная зависимость тангенса угла потерь, обусловленная сквозной электропроводностью диэлектрика, выражается ф-лой

$$\text{tg } \delta = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0 \epsilon} = \frac{1,8 \cdot 10^{12} \sigma}{f \epsilon}, \text{ где } f —$$

частота электр. поля, гц . С повышением т-ры Д. п. проводимость растут вследствие увеличения проводимости диэлектриков. Наименьшая величина тангенса угла потерь (10^{-6} — 10^{-4}) наблюдается в диэлектриках с упругими механизмами поляризации (в ионных и ионно-ковалентных

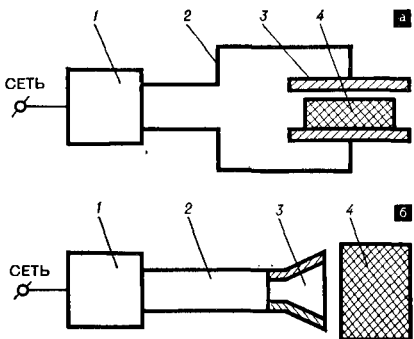
кристаллах — кварце, сапфире, слюде, окиси магния). Осн. влияние на эти потери оказывает электропроводность диэлектрика, примеси, нарушения структуры ионных кристаллов. Чем чище и совершеннее диэлектрик, тем меньше его Д. п. В диэлектриках с релаксационной поляризацией в области максимума Д. п. величина $\operatorname{tg} \delta$ составляет от 10^{-2} до нескольких единиц — в зависимости от концентрации релаксирующих центров. Релаксационный характер носят, в частности, Д. п. в стеклах с большим количеством катионов щелочных металлов ($\operatorname{tg} \delta = 10^{-4} \div 10^{-1}$), а также в ситаллах и сегнетоэлектрических материалах, содержащих атомы с переменной валентностью ($\operatorname{tg} \delta = 10^{-3} \div 10^{-2}$). Для измерения Д. п. на частотах $10^{-1} \div 10^5$ гц используют мосты переменного тока, с помощью к-рых определяют параметры эквивалентной цепи (R_x и C_x), полное сопротивление к-рой равно полному сопротивлению конденсатора с исследуемым диэлектриком. Если, напр., R_x и C_x включены последовательно, то $\operatorname{tg} \delta = \omega R_x C_x$. На частотах $10^4 - 10^{11}$ гц применяют резонансные методы измерения Д. п., основанные на изучении добротности колебательных контуров, в состав к-рых входит конденсатор с диэлектриком (на частотах $10^8 - 10^{11}$ гц — добротности объемных резонаторов с диэлектриком). В этом случае $\operatorname{tg} \delta = Q^{-1} - Q_0^{-1}$, где Q и Q_0 — добротность колебательной системы соответственно с диэлектриком и без него. На частотах выше 10^9 гц Д. п. определяют по затуханию радиоволн, проходящих через диэлектрик, расположенный в волноводе или в свободном пространстве. Диэлектрики с малыми Д. п. ($\operatorname{tg} \delta < 10^{-3}$) применяют в конденсаторах, в устройствах высоковольтной электроизоляции на переменном токе, в качестве подложек интегральных схем, для изготовления диэлектрических антенн и волноводов, обтекателей антенн (см. Радиопрозрачные материалы) и др. Диэлектрики с большими

Д. п. ($\operatorname{tg} \delta > 10^{-2}$) используют для изготовления деталей и покрытий, поглощающих радиоволны (см. Радиопоглощающие материалы), для гашения нежелательных колебаний в системах СВЧ, в приборах для измерения мощности СВЧ и др.

Лит. см. к ст. Диэлектрическая проницаемость. В. А. Дубок.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ — нагрев электроизоляционных материалов (диэлектриков) в переменном электрическом поле. Впервые применен в начале 30-х гг. 20 в. Обусловлен протеканием (под действием переменного электр. поля) электр. тока, являющегося суммой тока смещения (возникающего вследствие поляризации диэлектрика) и тока проводимости (вызванного наличием в диэлектрике нек-рого количества свободных электрически заряженных частиц). Интенсивность и др. характеристики Д. н. определяются относит. диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь материала, частотой и электр. напряженностью поля. Глубину проникновения электромагн. волны в диэлектрик, т. е. то расстояние Δ (в м) от поверхности, на к-ром амплитуда электр. напряженности E (в кв/м) затухает в $e \approx 2,71$ раза, определяют по ф-ле $\Delta = 9,55 \cdot 10^7 / f \sqrt{\epsilon} \operatorname{tg} \delta$, где f — частота поля (в гц); ϵ — относительная диэлектр.

Схемы установок для диэлектрического нагрева: а — высокочастотная установка (1 — ламповый генератор; 2 — высокочастотный токоподвод; 3 — рабочий конденсатор; 4 — нагреваемое изделие); б — сверхвысокочастотная установка (1 — генератор сверхвысокой частоты; 2 — волновод; 3 — рупорная антенна; 4 — нагреваемое изделие).



проводимость; $\tan \delta$ — тангенс угла диэлектр. потерь материала. Эта губина часто превышает размеры нагреваемого изделия, чем объясняется равномерность нагрева по всему объему. Выделяющаяся при нагреве удельная мощность p (в вт/м^3) равна $p = 5,55 \cdot 10^{-5} \varepsilon \text{tg} \delta f E^2$. Иногда, применяя ток сверхвысокой частоты, добиваются ярко выраженного поверхностного эффекта и неравномерности прогрева, что используют, напр., для разрушения горных пород. Для Д. н. используют ток высокой (0,3—300 мгц) и сверхвысокой (свыше 300 мгц) частоты. Напряженность электр. поля при Д. н. — от 5 до 3000 кв/м . Частоту и напряженность выбирают в зависимости от параметров нагреваемого изделия и особенностей технологического процесса. Мощности установок для Д. н. (рис.) — от 0,1 до 1000 квт . Рабочий конденсатор высокочастотных установок изготавливают (из меди, алюминия или сплавов на их основе) в виде плоских пластин, роликов и др. в зависимости от формы нагреваемого изделия. Д. н. в сверхвысокочастотных установках, помимо облучения рупорной антенной, можно также осуществлять, используя полые резонаторы или помещая изделие непосредственно в волновод. Установки обоих типов действуют как в периодическом, так и в непрерывном режиме. Питание установок — от лампового генератора или магнетрона. Осн. преимущества Д. н. — высокая скорость и равномерность нагрева материалов с низкой *теплопроводностью*, возможность местного и избирательного нагрева, легкость регулирования и автоматизации. Д. н. применяют для сушки материалов (напр., керамики), нагрева терморезистивных пластмасс перед прессованием, сварки термопластов, склеивания фанеры, получения пенополистирола и др. Применение Д. н., несмотря на относительно высокую стоимость оборудования и электроэнергии, экономически эффективно. Лит.: Нетушил А. В. [и др.]. *Высокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников*. М.—Л., 1959; *Высокочастотная электротермия*. Справочник. М.—Л., 1965; Б р и г и н Н. Л. *Нагрев в электрическом поле высокой частоты*. М.—Л., 1965; Г л у х а н о в Н. П., Ф е д о р о в И. Г. *Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в маши-*

ностроении. Л., 1972; П ю ш н е р Г. *Нагрев энергией сверхвысоких частот*. Пер. с англ. М., 1968. А. Б. Кувалдин.

ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ — св-во материала сопротивляться разрушению при длительном воздействии статической нагрузки и высокой т-ры. Является одной из осн. характеристик (наряду с кратковременной прочностью, ползучестью, релаксационной стойкостью, длительной пластичностью), входящих в комплекс св-в, определяющих жаропрочность материала. Обуславливается прочностью межатомных связей и структурой материала, создаваемой подбором его хим. состава и *термомеханической обработкой*. Для некоторых материалов, напр. *титана сплавов*, Д. п. имеет значение и при неповышенных т-рах. Чтобы определить Д. п., образец материала испытывают при постоянной нагрузке, определяя зависимость времени до разрушения t от условного напряжения σ , отнесенного к начальной площади сечения образца. Результаты испытаний представляют в виде таблиц, по к-рым для каждой т-ры T определяют т. н. предел Д. п. — миним. напряжение, при к-ром материал разрушается за 100 ч — σ_{100}^T , за 1000 ч — σ_{1000}^T и т. д. (табл.), или в виде диаграмм Д. п., построенных в логарифмических $\lg \sigma - \lg t$ либо в полулогарифмических $\sigma - \lg t$ координатах (рис. на с. 396). С увеличением времени испытания, а также с повышением т-ры наклон линий к оси времени возрастает, что связано со структурными изменениями, происходящими в материале и ведущими к его разупрочнению, а также с возможными изменениями механизма разрушения. С различными участками диаграммы условно связывают тот или иной преобладающий характер разрушения: вязкое разрушение при кратковременном воздействии нагрузки, сопровождающееся значительными деформациями и образованием *трещин* по телу зерна; хрупкое разрушение при долговременном воздействии нагрузки, влекущее за собой незначительные деформации и образование трещин по

границам зерен; смешанное разрушение, соответствующее переходной области диаграммы. Графическое изображение зависимости Д. п. от т-ры позволяет экстраполировать экспериментальные результаты, продлевая аппроксимирующую кривую с сохранением ее геометрических особенностей. Одним из осн. требований, предъявляемых к жаропрочным сплавам, является их структурная стабильность в процессе эксплуатации. Лучшей жаропрочностью и, следовательно, Д. п. обладают стали и сплавы на основе *твердых растворов*. Так, жаропрочные сплавы на никелевой основе представляют собой сложнолегированные многокомпонентные системы, в результате *термической обработки* к-рых образуется твердый раствор с тонкодисперсными включениями легирующих элементов, препятствующих пластической деформации и разрушению. При длительном воздействии высокой т-ры в процессе термообработки происходит образование тонкодисперсных вторичных фаз, упрочняющих сплав. Вследствие этого из жаропрочных сплавов на никелевой основе (марок ЭП202, ЭП99, ЭИ437Б, ЭИ617, ЭИ826, ЭП539 и др.) изготавливают лопатки газовых турбин, длительно (до 10 000 ч) эксплуатируемые при т-ре 700—800° С. Хромистые нержавеющие стали (напр., марок 1Х13, 2Х13), служащие конструкционным мате-

риалом для паровых турбин, сохраняют длительную (до 100 000 ч) прочность при т-ре до 450° С. В течение продолжительной эксплуатации сплава упрочняющие фазы склонны к *коагуляции*, они уже в меньшей мере препятствуют перемещениям *дислокаций*, вследствие чего повышается пластичность и понижается сопротивляемость сплава разрушению. При оценке Д. п. в основном исходят из результатов мех. испытаний

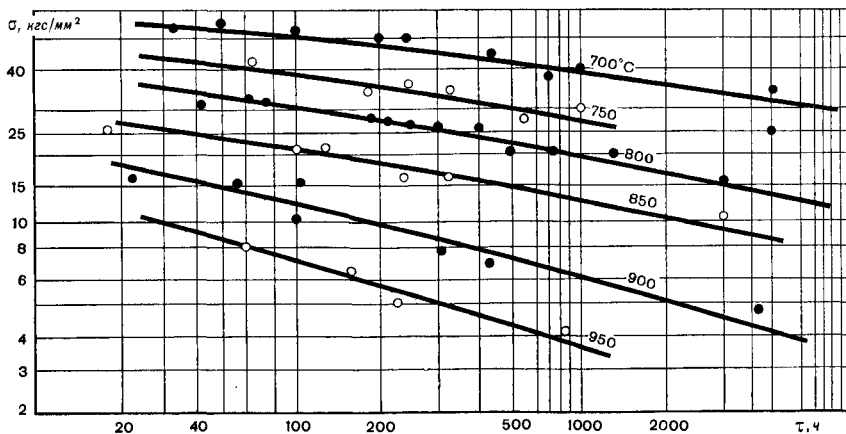
Пределы длительной прочности хромоникелевой стали марки ЭП164

Т, °С	σ_{1000}^T кгс/мм ²	σ_{10000}^T кгс/мм ²	σ_{50000}^T кгс/мм ²	σ_{100000}^T кгс/мм ²
600	49	39	32	30
650	40	29	25	23
700	24	18	15	14
750	16	11	9	8

Примечание: Величины σ_{50000}^T и σ_{100000}^T найдены экстраполяцией

(см. *Испытания материалов механические*). Кроме данных таблиц и графиков, Д. п. оценивают по аналитическим зависимостям, аппроксимирующим экспериментальные результаты или отражающим модельные представления о длительном разрушении материала. Условно эти за-

Длительная прочность жаропрочного сплава марки ЭП202 при различных температурах.



зависимости подразделяют на эмпирические, параметрические и феноменологические. Из эмпирических их зависимости наиболее распространены зависимости

$$\tau = B\sigma^{-m}, \quad (1)$$

$$\tau = Ae^{-\beta\sigma}, \quad (2)$$

где B , m , A и β — эмпирические характеристики материала, являющиеся обычно функциями T -ры. Зависимость (1) в логарифмических, а зависимость (2) в полулогарифмических координатах аппроксимируют экспериментальные данные о Д. п. прямой линией. Наклон этой линии к осям, а также отрезки, отсекаемые на них, позволяют определить входящие в зависимости (1) и (2) величины B , m и A , β . Чтобы учесть нелинейность диаграмм Д. п. в широком временном интервале, рассматривают различные модификации зависимостей (1) и (2) и их комбинации. Зависимости (1) и (2) связывают τ и σ при фиксированных T -рах и позволяют экстраполировать σ с меньшего времени на большее. Однако можно зафиксировать, напр., τ и, построив диаграмму зависимости σ от T , соответствующую этому времени, найти ее аналитическую аппроксимацию типа

$$\sigma = B_1 e^{a/T}, \quad (3)$$

где B_1 и a — эмпирические характеристики материала, зависящие от выбранного значения τ и определяемые так же, как и аналогичные характеристики в зависимостях (1) и (2). Зависимость (3) позволяет экстраполировать σ с большего значения T -ры на меньшее для одного и того же времени до разрушения. К эмпирическим зависимостям относят также корреляцию между характеристиками кратковременной прочности и Д. п., между характеристиками ползучести и Д. п. Так, экспериментально установлено, что произведение миним. скорости ползучести на время до разрушения — примерно постоянная величина, что позволяет прогнозировать Д. п. по данным ползучести. Параметрические зависимости, в основу к-рых положены ур-ния скоростей изменения определенных параметров материала при ползучести, в общем слу-

чае можно представить зависимостью

$$T [\ln \tau + P(T, \sigma)] = Q(T, \sigma). \quad (4)$$

Обычно функции $P(T, \sigma)$ и $Q(T, \sigma)$ представляют так, чтобы в одной части ур-ния (4) выделить $F(\sigma)$, а в другой — члены, содержащие τ и T , в совокупности называемые π -параметром. Так, полагая $P(T, \sigma) = C_1$, $Q(T, \sigma) = F_1(\sigma)$, получим параметрическую зависимость с одной константой (C_1)

$$F_1(\sigma) = T(C_1 + \ln \tau), \quad (5)$$

в к-рой для мн. материалов принимают $C_1 = 20$. Полагая $P(T, \sigma) = C_2$ и $Q(T, \sigma) = (T^2 - C_3 T) / F_2(\sigma)$, получим параметрическую зависимость, содержащую уже две константы (C_2 и C_3)

$$F_2(\sigma) = (T - C_3) / (\ln \tau + C_2). \quad (6)$$

Полагая $P(T, \sigma) = -a \ln \sigma - C_4$, $Q(T, \sigma) = C_5$, получим зависимость, содержащую три константы (a , C_4 , C_5)

$$\ln \tau + a \ln \sigma + C_4 + C_5 / T. \quad (7)$$

Если в зависимости (7) принять $a = a(T, \sigma)$, можно получить еще более широкий класс параметрических зависимостей. Феноменологические зависимости основаны на методах механики сплошной среды. В ур-ние ползучести, кроме σ и T , вводят параметр повреждения ω , к-рый может быть как скалярной, так и тензорно-инвариантной величиной. Этот параметр изменяется в пределах $0 \leq \omega \leq \omega^*$, где ω^* — характеристика материала, к-рая не зависит от напряжения и продолжительности его действия, но может зависеть от T -ры. Предполагая существование ур-ния повреждения

$$\dot{\omega} = f(\sigma, T, \epsilon, \omega), \quad (8)$$

решая его совместно с ур-ниями ползучести, равновесия и совместности деформаций и проводя интегрирование до $\omega = \omega^*$, определяют как напряженно-деформированное состояние материала в любой момент, так и время до разрушения τ . Осн. трудность этих методов заключается в определении вида правой части зависимости (8) по исходным экспери-

ментальным данным. Обобщение зависимостей (1) — (8) на случай пространственного напряженного состояния осуществляют заменой σ на $\sigma_{\text{экв}}$, принимая его равным, напр., интенсивности напряжений σ_i , или $\sigma_{\text{экв}} = \varphi(\sigma_i, \sigma_1)$ и т. д. Для нестационарных температурно-силовых режимов используют формулу линейной суммируемости повреждений

$$\sum_{k=1}^n \frac{t_k}{\tau_k} = 1, \quad (9)$$

где t_k — время действия нагрузки в режиме σ_k и T_k ; τ_k — время до разрушения при стационарных значениях σ_k и T_k . При небольшом количестве смен режимов зависимость (9) дает удовлетворительные результаты, при большом числе смен материал разрушается быстрее, чем это вытекает из зависимости (9). С увеличением нестационарности, включая цикличность нагрузок и т.р., разрушение материала будет происходить не только вследствие ползучести, но и вследствие усталости (см. *Усталость материалов*), и отделить собственно длительное разрушение от усталостного нельзя. Лит.: Михайлов-Михеев П. Б. Справочник по металлическим материалам турбино- и моторостроения. М.—Л., 1961; Ланская К. А. Жаропрочные стали. М., 1969; Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М., 1969.

О. В. Соснин.

ДОБАВКИ в строительные материалы — вещества, вводимые в строительные материалы для регулирования реологических свойств, управления физико-химическими процессами образования материала, модификации его структуры и улучшения свойств. Д. вводят в состав керамических и автоклавных стеновых материалов, *вяжущих материалов*, цементных растворов и бетонов. Д. в керамические стеновые материалы подразделяют на отощающие, выгорающие, пластифицирующие и специальные. Отощающие Д. — непластичные вещества, улучшающие формовочные св-ва массы (см. *Формуемость*) и снижающие усадоч-

ге. К неорганическим отощающим Д. относятся кварцевый и полевоплатный *песок*, *шамот*, бой изделий, дегидратированная глина. Осп. характеристики отощающих Д.: гранулометр. состав: песок — 0,1—1 мм; шамот — 0,2—3 мм; молотый бой высушенного сырца — 0—3 мм; содержание фракций размером менее 0,25 мм не должно превышать 20%; степень дегидратации глины — 70—90%. Количество вводимых отощающих добавок — 10—15%. Выгорающие Д. — вещества, способствующие улучшению формовочных св-в массы, повышению мех. прочности, снижению объемной массы и *теплопроводности* материалов. К ним относятся зола теплоэлектростанций (ТЭС), зола-унос, зола гидроудаления из золоотстойников и золоотвалов, золошлаковые отходы из зольной пыли, торфяные зола, отходы углеобогащения (см. также *Зола*). Св-ва зол ТЭС: содержание несгоревших частиц топлива 0,5—20%; удельная поверхность 1800—5000 см²/г; насыпная масса 600—800 кг/м³; минералогический состав: стекловидная масса, метакаолинит, гамма-глинозем, *муллит*, свободная кремнекислота, окислы железа, карбонаты и несгоревший уголь. Количество вводимых зол ТЭС: для высокопластичных *глин* 40—50%, умеренно пластичных 30%, для низкопластичных 10—20%. Для золошлаковых отходов характерно отсутствие включений шлаковых частиц размером более 3—5 мм. Количество вводимых золошлаковых отходов 8—18%. Торфяная зола представляет собой тонкодисперсный порошок с содержанием несгоревших частиц 23—27%. Количество вводимой торфяной зола 15—18%. К отходам углеобогащения относятся отходы углеобогащения коксохимзаводов, отходы центральных обогатительных фабрик (ЦОФ) и негорелые шахтные породы. Оптимальный гранулометрический состав отходов углеобогащения: фракций меньше 1 мм — 40%; 1—2 мм — 30%; 2—3 мм — не более 30%. Негорелые шахтные породы должны содержать 3—30% угля. Отходы углеобогащения коксохимзаводов вводят в запесоченные и лессовидные *суглинки* в количестве до 15%; отходы

ЦОФ, представляющие собой угольные сланцы, — 12—18%; пегорелые шахтные породы, в основном глинистые сланцы (*аргиллиты*), — 10—17%. Пластифицирующие Д. — вещества, повышающие пластичность и улучшающие формуемость глиняной массы. К ним относятся высокопластичные глины, напр. бентонитовые, и поверхностно-активные вещества. Высокопластичные бентонитовые глины вводят в формовочные массы либо в виде шликера с влажностью 40%, либо в виде порошка. Количество водимого шликера 3—5%, порошка 10—11%. Поверхностно-активные Д. вводят в формовочную массу для изменения состояния системы на границе раздела глиняная частица — вода. К ним относятся добавки ССБ, СДБ, СНВ и НБ; вводят их в количестве 0,05—0,3%. Специальными служат Д. для разувлажнения глин высокой карьерной влажности, флюсующие Д., или плавни, Д., улучшающие окраску и лицевую поверхность изделий, Д. для предупреждения разрушающего действия карбонатных пород. Д. для разувлажнения глин высокой карьерной влажности обеспечивают требуемую консистенцию керамических масс, улучшают формование на ленточных прессах. К ним относятся молотый высушенный сырец, бой обожженного кирпича, дегидратированная глина, вяжущие (*известь, гипс, цементная пыль и др.*). Вводят эти Д. в количестве 0,5—3%. Флюсующие Д. — вещества, обеспечивающие снижение т-ры обжига, увеличивающие мех. прочность и плотность изделий. К ним относятся: ваграночный шлак — отход чугунолитейного произ-ва (снижает т-ру появления жидкой фазы, увеличивает интервал спекания, повышает плотность и атмосферостойкость обожженного материала, вводят его в количестве 7—12%); отвалы шлаки медеплавильного произ-ва (отличаются высоким содержанием окислов железа, увеличивают прочность и морозостойкость материала, понижают водопоглощение, вводят их в количестве 20—25%); пиритные огарки — сухие порошкообразные отходы произ-ва серной к-ты (содержат свыше 67% окисных и закисных соединений железа, снижают т-ру обжига,

улучшают формуемость и сушку, повышают прочность и морозостойкость материалов, вводят их в количестве 6—7%). Д., улучшающие окраску и лицевую поверхность кирпича, подразделяют на окрашивающие, осветляющие, Д. для устранения высолов, Д. для создания лицевого слоя кирпича. Окрашивающие Д. — марганцевые, железосодержащие и хромовые руды, а также материалы со значительным содержанием железа: мушья, *сурик*, хлористое железо, жидкое (растворимое) калиевое стекло. Осветляющие Д. — тонкомолотый мел, доломит, мергель, гашеная известь, *трепел*, каолин, светложгущиеся глины; вводят их в количестве 15—50%. Д. для устранения высолов растворимых солей переводят растворимые соли в нерастворимое состояние. К ним относятся углекислый барий и гидрат окиси бария. Д. для создания лицевого слоя кирпича — *ангобы* на основе часоваярской глины с добавкой стеклянного боя, минеральная крошка *песчаника* или отходов огнеупорного кирпича с добавкой легкоплавкого стекла, а также цветные стекла. К Д. для предупреждения разрушающего действия карбонатных пород относится поваренная соль (хлорид натрия), к-рая ускоряет реакцию образования силикатов кальция, связывая свободную окись кальция. Эти Д. вводят в количестве 0,5—1% в виде раствора с водой затворения. Применяют также вещества, содержащие восстановители, напр. золу-унос и коксовую пыль, действие к-рых аналогично действию поваренной соли и объясняется интенсивным связыванием свободной извести двухвалентным железом. Д. в вяжущие материалы — вещества, регулирующие сроки схватывания (твердения). Регуляторы схватывания гипса подразделяют на замедляющие и ускоряющие твердение. К замедлителям твердения относятся борная и фосфорная к-ты, их натриевые, калиевые или аммонийные соли (напр., *бура*), углекислый кальций и углекислый магний. Действие их основано на образовании вокруг частиц гипса коллоидных слоев, препятствующих проник-

новению воды к гипсу, снижению растворимости гипса и скорости превращения его в двухводный сернокислый кальций, замедлению *кристаллизации* образующегося двухводного сернокислого кальция. Ускорители твердения гипса — сульфаты, поваренная соль, хлористый аммоний, хлористый магний и щелочные нитраты. Д. в растворы и бетоны — вещества, регулирующие физико-хим. процессы *гидратации* и твердения цементного теста, модифицирующие структуру затвердевшего бетона. Д. в растворы и бетоны подразделяют на регуляторы реологических св-в растворов и бетонов, регуляторы процессов схватывания и твердения растворов и бетонов, модификаторы структуры растворов и бетонов, ингибиторы коррозии арматуры в растворах и бетонах и Д. для улучшения спец. св-в бетонов. К Д., регулирующим реологические св-ва растворов и бетонов, относятся противосегрегационные (водоудерживающие) — активные минеральные Д. (природные осадочного происхождения — *диатомиты*; природные вулканического происхождения — *пеплы, туфы, пемза, витрофириты, трассы*; искусственные — доменные гранулированные шлаки, белитовый или нефелиновый шлак, кислая зола-унос и др.).

К Д., регулирующим процессы схватывания и твердения растворов и бетонов, относятся: ускорители схватывания — NaF , K_2SO_4 , CaCl_2 ; ускорители твердения — NaCl , CaCl_2 , FeCl_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, Na_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ (ННК), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{CaCl}_2$ (ННХК), замедлители схватывания — CaSO_4 , ССБ, СДБ и др.; замедлители твердения — ССБ, СДБ и др.; противоморозные — NaCl , CaCl_2 , NaNO_2 , K_2CO_3 , ННХК и др.; активизаторы твердения бесклнкерных вяжущих — соединения щелочных металлов, дающие в водных растворах щелочную реакцию. Д., модифицирующие структуру растворов и бетонов, подразделяют на наполняющие — порошки, получаемые тонким помолом кварцевых или полевошпатных песков и песчаников, изверженных

горных пород, известково-магнезиальных пород, негранулированных расплавшихся доменных шлаков; уплотняющие — алюминат натрия, FeCl_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и др.; расширяющиеся — CaSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, глиноземистый цемент, монтмориллонитовые глины и др.; газообразующие — порошки алюминиевые ПАК-3 и ПАК-4 и др. К Д., являющимся ингибиторами коррозии арматуры в растворах и бетонах, относятся: ингибирующие стали — ННК, катапин-ингибитор и др.; Д., повышающие прочность растворов и бетонов, — соединения щелочных металлов, к-рые в водных растворах дают щелочную реакцию (для бесклнкерных вяжущих). Д., улучшающие спец. св-ва бетонов: повышающие *жаростойкость* — шамот, магнезия, андезит, диабаз и др.; повышающие *кислотостойкость* — андезит, базальт, диабаз, кварц, фарфор и др.; повышающие *щелочестойкость* — известняк, доломит; бактерицидные и альгицидные Д. — тонкомолотый известняк с оксихлоридом и эндрином и др. противорадиационные Д. — соединения тяжелых металлов, кадмия и других веществ.

Лит.: Вавржин Ф., Крчма Р. Химические добавки в строительстве. М., 1964; Чеховский Ю. В. Понижение проницаемости бетона. М., 1968; Ратинов В. В., Розенберг Т. И. Добавки в бетон. М., 1973; Добавки в шихту при производстве керамических стеновых материалов. М., 1974; Иванов Ф. М., Батраков В. Г., Лагойда А. В. Добавки к бетонам и строительным растворам. «Бетон и железобетон», 1974, № 6.

В. В. Гончаров, Н. Ю. Прянишникова.

ДОВОДОЧНАЯ ПАСТА — паста, состоящая из смеси мелкозернистых абразивных порошков и поверхностно-активных веществ. Применяется для отделочной (доводочной) обработки с целью получения у изделий чистой (10—14-го классов) поверхности и точных размеров (1—2-го классов). В качестве абразивных используются порошки *карбидов* кремния и бора, *окислов* алюминия и хрома, натуральных и синтетических *алмазов*, боразона и металлоподобных *тугоплавких соединений* (карбидов и боридов титана, циркония, вольфрама, молибдена, хрома). Поверхностно-активными веществами служат стеариновые и олеиновые кислоты, парафин, минер. масла, полиизобутилен,

керосин. Концентрация в пасте абразивных порошков увеличивают по мере роста размера абразивных частиц, твердости обрабатываемого материала и припуска, оставленного под доводку предварительным шлифованием. Величину абразивных частиц выбирают в зависимости от требуемой чистоты поверхности обрабатываемого изделия. Частицы размером 20—40 мкм обеспечивают чистоту поверхности 9—10-го классов, размером от 7 до 20 мкм — 11—12-го классов, размером от 1 до 5 мкм — 13—14-го классов. Содержание в пасте абразивных частиц составляет 0,5 ÷ 98%, стеариновой кислоты — 0,5 ÷ 74%, олеиновой кислоты — 0,1 ÷ 72%, парафина — 4 ÷ 8%, минер. масла — 3 ÷ 87%, полиизобутилена — 1 ÷ 2%. Полиизобутилен интенсифицирует процесс доводки. Перед нанесением на металл к пасте добавляют 40—50% керосина. На доводочную пасту действует ГОСТ 16 877—71.

Лит.: Б а к у л ь В. Н. Порошки и пасты из синтетических алмазов и их применение. «Машиностроитель», 1964, № 10; Артамонов А. Я., Тутаков О. В., Дайч А. И. Исследование полирующей способности тугоплавких соединений, «Порошковая металлургия», 1967, № 2; Артамонов А. Я., Везыкорнов А. И., Тутаков О. В. Новые абразивные материалы для шлифовки и доводки металлических изделий. «Технология и организация производства», 1967, № 3. О. В. Тутаков.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКОЕ СТЕКЛО (от греч. *δόσις* — доля, часть и *μετρώω* — измеряю) — стекло, изменяющее свои свойства под действием ионизирующих излучений, на чем и основано применение его для измерения доз этих излучений. Д. с. начали создавать с середины 40-х гг. в СССР, США, Японии. Для измерения больших доз электронного и гамма-излучений используют Д. с., характеризующееся эффектом потемнения под действием излучения, отличающееся высокой чувствительностью, линейной зависимостью оптической плотности от дозы облучения и стабильностью наведенного спектра поглощения. Для этой цели наибольшее применение нашли силикатные и боросиликатные стекла с добавкой окислов кобальта, силикатные стекла с добавкой окислов ванадия, марганца и железа, а также свинцово-силикатные и многосурьмяные стек-

ла, напр., состава (%): 62,6 SiO_2 , 10,6 Na_2O , 10,7 B_2O_3 , 6,0 Al_2O_3 , 0,1 Co_3O_4 или 70,0 SiO_2 , 18,0 Na_2O , 1,0 B_2O_3 , 10 CaO , 1,0 MgO и 0,5 Co_3O_4 . Добавки окислов марганца, железа и олова или окислов марганца, ванадия и хрома способствуют стабилизации окраски Д. с., повышению его чувствительности к малым дозам радиации. Для определения доз от 1000 до 5000 *р* изготавливают миниатюрные дозиметры диаметром 1 и высотой 6 мм. Для индивидуальной дозиметрии рентгеновского и гамма-излучений в диапазоне от единиц до 600—800 *бэр* в дозиметрах, действие к-рых основано на эффектах радиофотолуминесценции и термостимулированной люминесценции, используют Д. с., характеризующиеся линейной зависимостью интенсивности люминесценции от дозы, способностью накапливать дозу при повторных облучениях и длительностью сохранения полученной дозы (до нескольких месяцев). Бороалюмофосфатное Д. с., активированное серебром, позволяет измерять дозу от 10 до 800 *бэр* при облучении рентгеновскими, гамма-лучами и тепловыми нейтронами. Более чувствительны в интервале до 10^6 *р* алюмофосфатные Д. с., активированные 0,1% MnO , состава (%): 50 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{P}_2\text{O}_5$, 50 $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ (или 50 $\text{MgO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$, либо 50 $\text{SrO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$). Из Д. с. состава (%): 85 ÷ 90 P_2O_5 , 3 ÷ 8 MgO , 3 ÷ 12 SrO , 3 ÷ 8 Al_2O_3 , 0,05 ÷ 0,15 MnO , 0 ÷ 2 PbO , 0 ÷ 2 Na_2O , 0 ÷ 3 Li_2O и 0 ÷ 1 SO_3 изготавливают дозиметры в виде пластинок, стержней и трубок. Д. с. используют также в качестве сцинтилляторов для гамма-спектрометров и счетчиков Черенкова, для детектирования медленных нейтронов и (в виде тонких огненно-полированных пластин) для регистрации ядерных реакций.

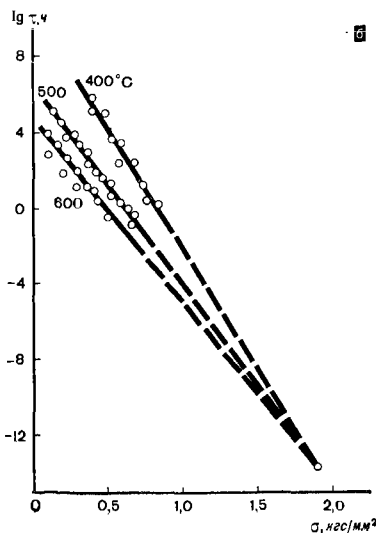
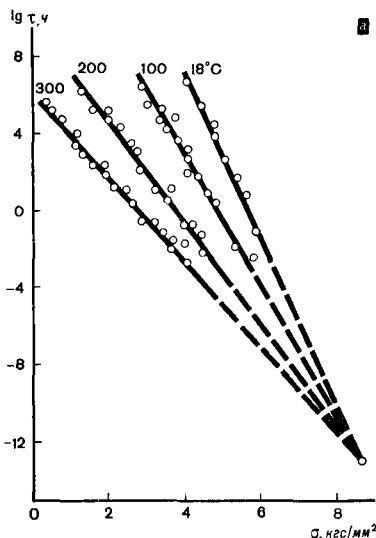
Лит.: В ю р г а н о в с к а я Г. В. [и др.]. Действие излучений на неорганические стекла. М., 1968; В р е х о в с к и х С. М. [и др.]. Основы радиационного материаловедения стекла и керамики. М., 1971.

О. Н. Попов.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ — свойство материалов сохранять требуемые качества до предельного состояния, заданного условиями

эксплуатации или испытаний. За предельное состояние материала принимают мех., электр. или др. виды разрушения, резкое снижение качества поверхности и нарушения формы изделия вследствие износа (см. *Износостойкость*), коррозии (см. *Коррозия бетона*, *Коррозия металлов*), эрозии (см. *Эрозия бетона*, *Эрозия металлов*), появления трещин критического размера и т. п. Д. м. оценивается временем (или числом циклов) от начала эксплуатации (испытания) до момента достижения предельного состояния. Зависит от вида напряженного состояния, т-ры эксплуатации, режима и уровня нагрузок, взаимодействия материала с внешней средой (см., напр., *Адгезия*, *Адсорбция*), его хим. и фазового состава, структуры, количества дефектов и др. Д. м. снижается при переходе от простого к сложному напряженному состоянию и от стационарных условий нагружения к нестационарным. С повышением т-ры Д. м. уменьшается (рис.) вследствие увеличения подвижности атомов, ослабления межатомных связей, уменьшения стабильности фазового состава и структуры материала. Повысить Д. м. при высоких т-рах можно выбором оптимальной основы сплава, рациональным его легированием и термической обработкой, обеспечивающими упрочнение основы и границ зерен, стабилизацию св-в сплава в процессе длительной эксплуатации. К долговечным относятся, напр., *жаропрочные сплавы*, среди к-рых наиболее долговечны сплавы на никелевой и кобальтовой основах (см. *Кобальта сплавы*, *Никеля сплавы*). Для того, чтобы предотвратить влияние на Д. м. хим. агрессивных сред, применяют *защитные покрытия*. Долговечность материала, применяемого при комнатных и климатических т-рах, можно повысить технологическими методами обработки, упрочняющими его поверхность (см. *Упрочнение*, *Химико-термическая обработка металлов*). Если

же в процессе эксплуатации происходят обратимые изменения св-в материала, то его долговечность можно восстановить (см. *Восстановление свойств материалов*). Установление функциональных зависимостей между Д. м. и параметрами нагрузки (т-рой, напряжением, режимом, средой и т. д.) позволяет прогнозировать среднюю Д. м. при переходе с одних уровней нагрузки на другие, проводить экстраполяцию и ин-



Зависимость долговечности материалов от напряжения при различных температурах: а — алюминий; б — каменная соль.

исследования процессов мех. разрушения материалов используют температурно-временные зависимости между временем до разрушения, напряжением и т.р., а также различные параметрические зависимости (см. *Длительная прочность*). Д. м. рассматривают также по скорости повреждения материала на стадии стабилизации процесса в данных условиях нагружения. Неидентичность материала внутри партий образцов и между ними, случайные погрешности измерений и отклонения режимов испытаний вызывают рассеяние значений Д. м. (см. *Дисперсия свойств*), к-рое учитывают в расчетах долговечности и прочности конструкций. Экспериментально Д. м. оценивают на спец. установках и стендах (см. *Испытания материалов механические, Усталость материалов*).

Лит.: Елизаветин М. А., Саттель Э. А. Технологические способы повышения долговечности машин. М., 1969; Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М., 1974; Хевиланд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность. Пер. с англ. М.—Л., 1966. С. С. Городецкий.

ДОЛЕРИТ (от греч. *δολερός* — обманчивый) — излившаяся основная горная порода, полнокристаллическая разновидность базальта с пространственным размещением составных минералов, образующих долеритовую (или офитовую) структуру. В отличие от обычных базальтов Д. — явнотернистая порода. По минер. составу не отличается от базальта. Средний химический состав Д. (%): SiO_2 — 49,94; TiO_2 — 1,57; Al_2O_3 — 14,50; Fe_2O_3 — 3,74; FeO — 8,01; MnO — 0,33; MgO — 6,93; CaO — 9,71; Na_2O — 2,65; K_2O — 0,97; H_2O — 1,28; P_2O_5 — 0,37. По физ. св-вам Д. близок к базальту. Цвет — темный. Д. образуется в условиях более медленного (по сравнению с обычным базальтом) охлаждения расплава, вследствие чего успевает приобрести мелко- и даже среднетернистую структуру. Д. размещается во внутренних частях потоков и покровов, сложенных основными горными породами; нередко наблюдается также в виде различного состава жильных тел, располагающихся в приповерхностных частях участков раз-

вития основного вулканизма. Д. используют в строительном деле и для кислотоупорного каменного литья. **Лит.:** Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Петрография. Л.—М., 1940; Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., 1961; Левинсон-Лессинг Ф. Ю., Струве Э. А. Петрографический словарь. М., 1963.

И. С. Усенко.

ДОЛОМИТ [по имени франц. минералога Д. Доломье (D. Dolomieu)], $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ — минерал класса карбонатов. Хим. состав (%): CaO — 30,4; MgO — 21,7; CO_2 — 47,9. Содержит примеси двухвалентных железа и марганца, кобальта, свинца, цинка. Структура островная, сингония тригональная, вид симметрии ромбоэдрический. Кристаллы обычно ромбоэдрические (границы ромбоэдра часто искривлены), встречаются также призматические, таблитчатые. Двойники по (0001), (1010), (1120), редко по (1011) и (0221). Агрегаты зернистые, почковидные, фарфоровидные с раковистым изломом, реже — волокнистые или в виде пизолитов. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по ромбоэдру {1011}. Плотность 2,85 г/см³. Твердость 3,5—4,0. Бесцветный, белый и просвечивающий, иногда серый, зеленоватый, розовый, красноватый, бурый; бесцветный в шлифе. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Некоторые разности флюоресцируют в ультрафиолетовых и катодных лучах. Одноосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_0 = 1,691$ — 1,695; $n_e = 1,500$ — 1,513; $n_0 - n_e = 0,180$ — 0,182. Растворяется в соляной к-те при нагревании или в тонком порошке. Термическая диссоциация в воздухе происходит при 700—750 и 900—950° С. Д. — породообразующий минерал осадочных пород. Встречается в метаморфических и гидротермально-метасоматических образованиях, в измененных ультраосновных и основных магматических породах. Главная масса Д. образуется экзогенным путем при замещении магнезиальными солями известковых осадков или при хим. осаждении в бассейнах аридной зоны. Д. получают из растворов

карбонатов кальция и магния в среде углекислого газа под давлением 10 ат при обычной т-ре и др. способами. Д. используют как огнеупорный материал, как флюс в металлургии, для печальных работ. Кроме того, его применяют для изготовления вяжущих материалов, термоизоляционных материалов (в смеси с асбестом), для получения металлического магния, в хим. пром-сти и др.

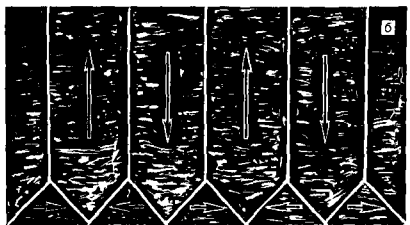
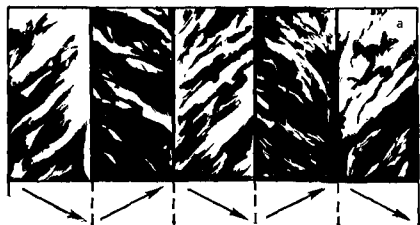
Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дэна Дж. и др. Система минералогии, т. 2, полугол. 1. Пер. с англ. М., 1953; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Пороодообразующие минералы. т. 5. Пер. с англ. М., 1966.

П. В. Зарицкий.

ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА (от франц. domaine — область) — структура материала, состоящая из областей самопроизвольной (спонтанной) намагниченности или поляризации — доменов. Наблюдается в ферромагнитных материалах, антиферромагнитных материалах, сегнетоэлектрических материалах и др. Впервые (в 1931) исследована в ферромагнитных материалах. С точки зрения теории образование Д. с. (разделение на домены размерами около 10^{-3} — 10^{-2} см) происходит вследствие уменьшения энергии системы, поскольку поверхностная энергия возникающих доменных границ меньше объемной энергии размагничивающего поля. В реальных кристаллах на образование Д. с. влияют магнитная анизотропия, структурные и хим. неоднородности, внешние и внутренние напряжения. В пределах каждого домена магн. моменты атомов ориентированы параллельно даже в отсутствие магн. поля, т. е. домены намагничены до насыщения. Однако ориентация векторов намагниченности в

разных доменах такова, что материал в целом оказывается размагниченным. При изменении намагниченности материала доменные границы смещаются. Если намагниченность доменов совпадает с направлением внешнего поля или близка к нему, домены растут, если же их намагниченность сильно отличается от направления внешнего поля — сокращаются в размерах. Движению доменных границ препятствуют границы зерен, включения, дислокации и др. дефекты решетки. С повышением т-ры доменные границы расширяются и вблизи Кюри точки исчезают. Линейные размеры доменов, образующих структуру, зависят от размеров образца или зерна. В малых ферромагн. частицах (100—500 Å) Д. с. может отсутствовать; частица становится однодоменной. Свообразна Д. с. в ферромагн. тонких пленках. Д. с. и подвижность доменных границ определяют св-ва ферромагн. материалов, напр. начальную и макс. магнитную проницаемость, коэрцитивную силу, остаточную намагниченность, потери на гистерезис и др. св-ва, связанные с т. н. кривой технического намагничивания ферромагнетиков. Д. с. в сегнетоэлектрических материалах влияет на электрические св-ва. В ферромагн. материалах Д. с. исследуют с помощью метода порошковых суспензий, используя ферромагн. порошок, частицы к-рого осаждаются на границах доменов и обрисовывают их контуры (рис.), метода магн. оптики, электронномикроскопического анализа и рентгеноструктурного анализа.

Доменная структура монокристалла кремнистого железа: а — 90-градусные домены; б — 180- и 90-градусные домены, замыкающие магнитный поток вблизи поверхности. Стрелками указано направление намагниченности в доменах, $\times 70$.



ит.: Магнитная структура ферромагнетиков. М., 1959; Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971; Бозорт Р. М. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956.

В. В. Полотнок.

ДОМЕННЫЙ ЧУГУН — чугун, выплавляемый в доменных печах. Используется с 14 в. Кроме железа и углерода, в Д. ч. содержатся кремний, марганец, фосфор и сера, иногда (в зависимости от состава руд) хром, вискель, медь, титан, вольфрам и мышьяк, а в виде микропримесей — олово, алюминий, цинк, свинец, кобальт и кальций. Д. ч. подразделяют на *переплавный чугун*, *литейный чугун* и *специальный* (см. *Ферросплавы*). Переплавные Д. ч. используют для получения стали, поставляя их в сталеплавильные цехи в жидком виде. Из литейных Д. ч., поставляемых потребителям в виде чушек массой 18—20 кг, получают отливки. Специальные Д. ч. служат присадками для раскисления стали. Продувкой доменного литейного или переплавного чугуна в ковшах гранулированным магнезитом получают рафинированный Д. ч. (табл.). Такой чугун содержит меньше серы и неметаллических включений. Марки, хим. состав и св-ва литейного рафинированного Д. ч. определены ГОСТом 5,1751—72.

Лит.: Крайсацев Н. И. Перспективы развития доменного производства. М., 1958. Н. А. Воронова.

ДРОБНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ — кристаллизация, проводимая в несколько стадий. На каждой стадии Д. ч. проводят частичную кристаллизацию расплавленной или растворенной в спец. растворителе смеси и отделение кристаллов (концентрата) от маточного раствора («хвостов»). Для осуществления частичной кри-

сталлизации прибегают к охлаждению, испарению (выпариванию) или добавляют вещества, понижающие растворимость концентрата. Кристаллы и маточный раствор, полученный после первой стадии кристаллизации, служат исходными продуктами второй стадии, для чего твердая фаза вновь переводится в раствор. После второй стадии кристаллизации образуются четыре фракции: две кристаллические и две жидкие — из твердой и жидкой фракций первой стадии. Жидкую фракцию, полученную из твердой первой стадии, смешивают с твердой фракцией, образовавшейся из жидкой в первой стадии. Эти фракции являются исходными продуктами третьей стадии и т. д. При достижении какой-либо фракцией требуемой чистоты или после обогащения выделяемым компонентом фракцию отбирают, а процесс разделения либо прекращают, либо продолжают (если необходимо выделить др. компоненты). Эффективность Д. к. определяется количеством стадий, обогащением фракций в одной стадии, зависящим от коэфф. обогащения и распределения, а также концентрацией компонентов, чистотой растворителя и условиями кристаллизации. Кристаллизацию ведут таким образом, чтобы по мере увеличения числа стадий количества фракций оставалось минимальным. Д. к. применяют для разделения веществ с близкими хим. свойствами, напр. лантаноидов, соединений гафния, хлоридов и бромидов бария и радия.

Химический состав рафинированного литейного доменного чугуна

Марка чугуна	Содержание элементов, %						
	C	Si	Mn		P		S
			для группы I	для группы II	для класса А	для класса Б	
ЛКР0	3,4—3,9	3,26—3,75	До 0,5	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	Не более 0,01
ЛКР1	3,5—4,0	2,76—3,25	До 0,5	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	Не более 0,01
ЛКР2	3,6—4,1	2,26—2,75	До 0,5	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	Не более 0,01
ЛКР3	3,7—4,2	1,76—2,25	До 0,5	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	Не более 0,01
ЛКР4	3,9—4,4	1,26—1,75	До 0,5	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	Не более 0,01
ЛКР5	4,0—4,5	0,75—1,25	До 0,5	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	Не более 0,01

Лит.: Бреслер С. В. Радиоактивные элементы. М., 1957; Хлопин В. Г. Избранные труды, т. 1. М.—Л., 1957; Основы металлургии, т. 5. М., 1968.

Г. А. Алфинцев

ДРОБНЫЙ АНАЛИЗ — анализ материалов, основанный на обнаружении каждого элемента (при наличии остальных) характерными реакциями с предварительным отделением или маскированием мешающих этому компонентов; метод *химического анализа*. Разработан в СССР в 30-х гг. на основе *капельного анализа*. При Д. а., в отличие от систематического *качественного анализа*, исключается применение газообразного сероводорода, длительного выпаривания и прокаливания (если не нужно обнаруживать щелочные металлы); не осуществляется (за редким исключением) анализ осадков, что избавляет от многократного отфильтровывания и промывания их. К тому же в процессе Д. а. ограничиваются одним фильтрованием на каждый обнаруживаемый ион элемента, используют малый объем исследуемого раствора (в пределах 0,5—3 мл). Продолжительность обнаружения одного иона сравнительно невелика — 1 ÷ 10 мин. Д. а. особенно удобен для выявления небольших количеств примесей (в любой последовательности). При Д. а. большое значение придается определению рН нейтрализованного до слабой мутности анализируемого раствора, что позволяет сделать предварительное заключение об отсутствии ионов, подвергающихся гидролизу с образованием осадка трудно растворимых гидроксосоединений при рН, меньшем, чем у этого раствора. Очень важно также предварительное (до анализа на наличие катионов) обнаружение в растворе анионов Cl^- , SO_4^{2-} и NO_3^- . Если в нем обнаружены анионы Cl^- , то исключается наличие катионов Ag^+ , Hg_2^{2+} и значительных концентраций катионов Pb^{2+} . При наличии анионов SO_4^{2-} отпадает необходимость обнаруживать катионы Ba^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} и повышенных концентраций катионы Hg_2^{2+} . В азотнокислых рас-

творах обычно нет сурьмы и олова. Для Д. а. в первую очередь используют высокочувствительные реакции, позволяющие обнаруживать искомый ион при наличии других. Анализ осуществляют на фильтровальной бумаге, часовом стекле (капельный метод) и в пробирках. Полный качественный анализ вещества, содержащего до 20 хим. элементов, можно выполнить с помощью Д. а. за 4—4,5 ч, а методом с применением сероводорода — за 10—12 ч.

Лит.: Танаев Н. А. Дробный анализ. М.—Л., 1950.

[Г. Т. Михальчинин.]

ДУГОСТОЙКОСТЬ — свойство материала противостоять разрушающему действию электрической дуги. Электр. дуга воздействует на поверхность токопроводящих изделий (напр., электродов), как правило, при разрыве электр. цепи, обуславливая необратимые изменения вследствие электроэрозионного и коррозионного разрушения и электропереноса материала с одного электрода на другой. Величина разрушений и количество перенесенного материала зависят от параметров электр. цепи, продолжительности горения электр. дуги, хим. состава окружающей среды и материала изделий. Если разрывается слаботочная цепь, на поверхность электродов воздействует искровой разряд и разрушение происходит в основном вследствие электропереноса материала с анода на катод (тонкий электроперенос): на аноде образуется кратер, а на катоде — *рыхлый* нарос в виде иглы (при переменном токе эти изменения меньше, чем при постоянном). Если мощность источника тока в цепи достаточно велика, искровой разряд переходит в электр. дугу, причем характер и механизм разрушения поверхности электродов при этом изменяются. В зоне непосредственного воздействия электр. дуги (под ее опорным пятном) на поверхности электрода образуется ванна расплавленного металла, к-рый интенсивно испаряется и разбрызгивается. Выброс расплавленного металла в виде быстро летящих брызг является следствием взрывообразного выделения растворенных в нем газов и действия термоупругой волны, возникающей в результате мгновенного местного разогрева электро-

да. Этим же объясняется появление трещин на поверхности электродов, а также отколовшихся твердых частиц в продуктах электроэрозионного износа, если термостойкость материала электрода недостаточна. С увеличением тока и напряжения в цепи, а также продолжительности горения дуги увеличивается ее термическое действие, возрастает объем расплавленного и количество разбрызгиваемого металла, увеличиваются напряжения в материале электрода, приводящие к его разрушению. Поверхность электродов из относительно легкоплавких, пластичных материалов обычно покрыта глубокими раковинами с оплавленными металлическими валиками и брызгами, рыхлыми наростами из материала, перенесенного с противоположного электрода. Если коррозионная стойкость материала электрода мала, вся поверхность покрывается, кроме того, рыхлыми твердыми корками окислов и др. соединений — продуктов взаимодействия материала электрода с окружающей средой. Поверхность электродов из металлов, пластичность и теплопроводность к-рых мала, покрывается также сетью трещин и сколов отторгнутых частиц материала. Материал электродов, подвергающихся действию электр. дуги, должен обладать комплексом теплофиз., электрофиз., хим. и мех. свойств: высокими т-рой плавления и кипения, плотной плавления и сублимации, теплоемкостью и теплопроводностью, малой упругостью пара при т-ре горения дуги и большой высокотемпературной прочностью при достаточном запасе пластичности, высокими электропроводностью, напряжением и величиной тока дугообразования, работой выхода электронов и потенциалом ионизации, малым коэфф. Томсона и большой стойкостью против электрохим. коррозии металлов и против коррозионного взаимодействия с окружающей средой. В природе нет материала, обладающего таким комплексом довольно противоречивых св-в, и его нельзя получить сплавлением соответствующих компонентов. Такой материал можно получить только методами порошковой металлургии, позволяющими формировать изделия из двух и более

компонентов, обладающих различными дополняющими друг друга св-вами в одном материале, сохраняя при этом эти св-ва. Так, напр., формируют изделия, структура к-рых представляет собой две пространственные взаимно переплетающиеся сетки из тугоплавкого прочного компонента (вольфрама, молибдена или тугоплавких соединений на их основе) и легкоплавкого электропроводного и пластичного компонента (серебра, меди или их сплавов). Оба компонента при этом сохраняют высокую тепло- и электропроводность. Материал с такой гетерогенной структурой отличается высокой дугоустойчивостью. В нем под опорным пятном дуги расплавляется только легкоплавкая составляющая, а каркас из тугоплавкой составляющей остается твердым, препятствуя испарению и разбрызгиванию расплавленного компонента. Пока существует расплавленный компонент, т-ра в зоне пятна не превышает его т-ру. Лит.: Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н. И. Электронская обработка токопроводящих материалов. М., 1958; Усов В. В. Металловедение электрических контактов. М., 1963; Раховский В. И., Теодорович О. К., Левченко Г. В. Разрывные контакты электрических аппаратов. М., 1966; Раховский В. И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме. М., 1970; Тае в Н. С. Электрические контакты и дугогасящие устройства аппаратов низкого напряжения. М., 1973; Самсонов Г. В. [и др.]. Электронское легирование металлических поверхностей. К., 1976.

О. К. Теодорович.

ДУНИТ [от назв. горы Дун (Dun) в Новой Зеландии] — ультраосновная интрузивная горная порода, состоящая гл. обр. из оливина (форстерита) и небольшого количества (около 3%) хромпиннелида, нередко совместно с магнетитом. В качестве примесей иногда содержит энстатит, бронзит, диаллаг, ильменит, пирротин, пентландит, платину самородную. В неизмененном виде Д. встречается редко, обычно он более или менее серпентинизирован и часто целиком превращен в змеевик (серпентинит). Хим. состав (%): SiO_2 — 40—42; MgO — 45—48; Al_2O_3 — до 1; Fe_2O_3 — 1—3; FeO — 5—9; паличие воды (до 6—8%) обусловлено явлениями

серпентинизации. Структура Д. — кристаллически-зернистая, текстура массивная. Цвет черный, темно- и светло-зеленый. Плотность 3,25—3,30 г/см³, а при серпентинизации понижается до 2,6—2,7 г/см³. Скорость распространения упругих волн в Д. на глубинах 1—10 км равна 1,5 км/сек. При изменении т-ры от 0 до 200° С коэфф. теплопроводности Д. изменяется в пределах $(8,1-12,4) \times 10^{-3}$ кал/см·сек·град. Д. образует силы, параллельные линзы, реже наблюдается в виде крупных массивов. Установлен в составе геосинклинальных и платформенных формаций и является дифференциатом различных магм: перидотитовой, базальтовой, щелочно-ультраосновной. Д. применяют в произ-ве основных огнеупорных материалов (гл. обр. в металлургии). Измельченные уральские Д. используют в качестве форстеритовой связки в хромитовых изделиях с огнеупорностью 1800—2000° С. Хромитовые огнеупорные материалы отличаются удовлетворительной термостойкостью, хим. нейтральностью и сравнительно большой стойкостью к воздействию как основных, так и кислых шлаков. Как составную часть при формировании сырца из магнезиально-силикатных пород Д. применяют также для получения обжиговых и безобжиговых форстеритовых огнеупорных материалов; пористость их 25—30%, предел прочности на сжатие 150—300 кгс/см², начало размягчения под нагрузкой — при т-ре 1500—1650° С. Эти материалы применяются в торцовых стенках, головках, газовых и

воздушных каналах мартеновских печей, в подинах нагревательных печей, в сводах отражательных медеплавильных печей и в др. тепловых агрегатах. Форстеритовые изделия, выпиленные из сырого (необожженного) Д., характеризуются огнеупорностью 1550—1750° С, низкой термостойкостью и удовлетворительной стойкостью к действию основных шлаков.

Лит.: Белянкин Д. С., Иванов Б. В., Лапин В. В. Петрография технического камня. М., 1952; Заварцкий А. Н. Изверженные горные породы. М., 1961. Г. Л. Кравченко.

ДУРАЛУМИН [от нем. Düren — Дюрэн (город, где было начато пром. произ-во сплава) и алюминий] — деформируемый алюминия сплав, основ. легирующими элементами в к-ром являются медь и магний. Впервые разработан (1908) в Германии. В СССР применяют Д. семи марок (табл. 1). Д. отличается низкой плотностью (2,75—2,85 г/см³), высокой прочностью. Из-за низкой коррозионной стойкости изделия из Д. защищают от коррозии лакированием или нанесением лакокрасочных покрытий. Все Д. упрочняют закалкой (охлаждение — в холодной воде) и последующим старением (см. Старение металлов). Для каждого сплава т-ру нагрева под закалку (485—530° С) поддерживают в жестких пределах (напр., для Д. марки Д16 она составляет $500 \pm 5^\circ \text{C}$). После закалки Д. подвергают естественному (не менее четырех суток) или (реже) искусственному старению, способствующему значительному повышению предела текучести при существенном снижении пластичности (табл. 2).

Наибольшее распространение полу-

Таблица 1. Химический состав дуралюминов

Марка дуралюмина	Содержание элементов, %				
	Al	Cu	Mg	Mn	Прочие
Д1	Основа	3,8—4,8	0,4—0,8	0,4—0,8	—
Д16	— » —	3,8—4,9	1,2—1,8	0,3—0,9	—
Д18	— » —	2,2—3,0	0,2—0,5	До 0,2	—
В65	— » —	3,9—4,5	0,15—0,30	0,3—0,5	—
ВД17	— » —	2,6—3,2	2,0—2,4	0,45—0,7	—
Д19	— » —	3,8—4,3	1,7—2,3	0,5—1,0	0,0002—0,005 Be
ВАД1	— » —	3,8—4,5	2,3—2,7	0,35—0,8	0,03—0,1 Ti, 0,07—0,20 Zr или 0,02—0,05 B

Изли сплавы марок Д1 и Д16. Полуфабрикаты из сплава марки Д1 изготавливают в виде листов, профилей, труб, проволоки, штамповок и поковок; из сплава марки Д16 — в виде листов, профилей, труб и проволоки. Из сплавов марок Д18 и В65, обладающих повышенной пластичностью, изготавливают проволоку для заклепок. Для Д. некоторых марок большое значение имеет сопротивление срезу: у сплава марки Д16 оно составляет 30 кгс/мм², у сплава марки Д18 — 21 кгс/мм², у сплава марки В65 равно 26 кгс/мм², у сплава марки Д19 — 29 кгс/мм². Изделия из сплавов марок ВД17, Д19 и ВАД1 предназначены для эксплуатации при повышенной т-ре (150—250° С), но широкого применения эти сплавы не нашли. В процессе длительных испытаний при т-ре 150—250° С сплавы марок ВД17, Д19 и ВАД1 имеют некоторое преимущество в сопротивлении ползучести перед сплавом марки Д16 (конструкционным материалом в авиастроении). Важная отличительная особенность сплава марки ВАД1 по сравнению с Д. др. марок — его хорошая *свариваемость*; он сваривается не только контактной точечной сваркой, но и аргоно-дуговой. Д. применяют в авиа- и машиностроении. Хим. состав Д. регламентирован ГОСТом 4784—65.

Лит.: Воронов С. М. Избранные труды по легким сплавам. М., 1957; Котлачев Б. А., Ливанов В. А.,

Таблица 2. Свойства дуралюминов

Марка дуралюмина	$\sigma_{\text{в}}$, кгс/мм ²	$\sigma_{\text{с}}$, кгс/мм ²	δ , %	σ_{-1} , кгс/мм ²
Д1	41	24	14	12,5
	49	32	20	
Д16	44	33	11	13,5—14,5
	54	40	18	
Д19	43	31	18	13,5—14,5
ВД17	50	33	13	13,5—14,5
ВАД1	43	28	22	13,5—14,5

Примечания: 1. σ_{-1} — предел выносливости при знакопеременном изгибе на базе $5 \cdot 10^8$ циклов. 2. Свойства даны при температуре 20° С, после упрочняющей термообработки. 3. В числителе приведены значения для полуфабрикатов в виде листов, в знаменателе — для прессованных полуфабрикатов.

Елагин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М., 1972; Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочное руководство. М., 1972; Алюминиевые сплавы. Применение алюминиевых сплавов. Справочное руководство. М., 1973.

В. И. Елагин.
ДЮМОРТЬЕРИТ [по имени франц. палеонтолога Э. Дюмортье (E. Dumortier)], $\text{Al}_7[\text{SiO}_4]_3[\text{BO}_3]\text{O}_3$ — минерал класса *силикатов* (боросиликатов). Хим. состав (%): SiO_2 — 31,52; Al_2O_3 — 62,39; B_2O_3 — 6,09. Примеси: до 2% Fe и до 1% Ti. Структура островная, сингония ромбическая, вид симметрии ромбоидально-пиримидальный. Д. имеет обычно вид волокнистых, игольчатых и столбчатых агрегатов. Кристаллы редки и имеют тонкопризматический до игольчатого облик со штриховкой вдоль оси с. Двойники и тройники по {110}. Спайность (см. *Спайность минералов*) средняя по {100} и несовершенная по {110}. Отдельность по {001}. Плотность 3,26—3,36 г/см³. Твердость 7,0—7,5. Цвет синий, зелено-синий, красновато-фиолетовый (см. *Цвет минералов*). Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Двухосный, отрицательный; $2V = 20$ —40°. Показатели преломления: $n_g = 1,686$ —1,692; $n_m = 1,684$ —1,691; $n_p = 1,659$ —1,670; $n_g - n_p = 0,022$ —0,027. N_p параллельно оси с, N_g параллельно оси а. *Плеохроизм* сильный: по N_p — темно-синий, фиолетовый, реже зеленовато-бурый, по N_g — бесцветный или светло-синий. Прозрачный или просвечивает. В к-тах не растворяется. Д. образуется в высокогидротермических метаморфических породах, а также в десилифицированных, обогащенных глиноземом пегматитах линии скрепления. Используется для произ-ва *огнеупорных материалов*. Лит.: Сердюченко К. П. О составе и генезисе дюмортьеритов. «Известия АН СССР. Серия геологическая», 1958, № 2; Ферсман А. Е. Пегматиты, т. 1. Гранитные пегматиты. В кн.: Ферсман А. Е. Избранные труды, т. 6. М., 1960; Головастики Н. И. Кристаллическая структура дюмортьерита ($\text{Al}_7\text{Fe}_2\text{O}_3[\text{BO}_3]_3[\text{SiO}_4]_3$). «Доклады АН СССР», 1965, т. 162, № 6.

М. М. Слишко.

ЕВРОПИЙ (Europium; от греч. Εὐρώπη — Европа), Eu — хим. элемент III группы *периодической системы элементов*; ат. н. 63, ат. м. 151,96; относится к *редкоземельным элементам*. Серебристо-белый металл. В соединениях проявляет степени окисления +2 и +3. Природная смесь содержит стабильные изотопы с массовыми числами 151 (47,82%) и 153 (52,18%). Получены радиоактивные изотопы с массовыми числами от 143 до 160 и с периодами полураспада от нескольких минут до 16 лет. Е. открыл в 1901 франц. химик Э. Демарсе. Содержание элемента в земной коре $1,2 \cdot 10^{-4}\%$. Пром. минералом для получения Е. служит монацит. Кристаллическая решетка Е. объемноцентрированная кубическая с периодом $4,5820 \text{ \AA}$ (при комнатной т-ре). Плотность (т-ра 20°C) $5,26 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 826 \pm 10^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 1439^\circ \text{C}$. Атомная теплосодержимость (т-ра 0°C) $6,20 \text{ кал/г-атом} \cdot \text{град}$. Температурный коэфф. линейного расширения в области т-р от -200 до $+780^\circ \text{C}$ равен $(26 \pm 4) 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Удельное электрическое сопротивление (т-ра 25°C) $81,3 \cdot 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}$. Металл парамагнитен. Кюри точка -165°C . Твердость литого металла (т-ра 20°C) 17 НВ. Е., как и другие редкоземельные элементы, отличается большой хим. активностью и реагирует с большинством неметаллов, водой и к-тами, образуя различные

соединения. С водой бурно реагирует уже при комнатной т-ре. На воздухе покрывается окисной пленкой, при наличии в воздухе влаги быстро корродирует (см. *Коррозия металлов*). Металлический Е. растворяется в жидком аммиаке. При сплавлении с большинством металлов Е. образует соединения. С ураном и плутонием почти полная несмешиваемость в жидком и твердом состоянии. Металлический Е. получают восстановлением его окиси лантаном в танталовых тиглях (в вакууме или в среде аргона) при т-ре 1200°C . Е — химически весьма реакционноспособный элемент, поэтому доступен только в виде слитков или кусков, отрезанных от слитков. Е. — один из наиболее эффективных поглотителей нейтронов, его окись входит в состав защитных *керамических покрытий* ядерных реакторов. Радиоактивный изотоп ^{152}Eu используют в качестве радиоактивного индикатора при хим. исследованиях. Изотопы ^{152}Eu , ^{154}Eu и ^{155}Eu применяют для *гамма-дефектоскопии*, изотоп ^{155}Eu используют также для медицинской диагностики. Е. находит применение и как активатор люминофоров.

Лит.: Савицкий Е. М. [и др.]. Сплавы редкоземельных металлов. М., 1962; Фигуровский Н. А. Открытие химических элементов и происхождение их названий. М., 1970; Спеддинг Ф. Х., Даан А. Х. Редкоземельные металлы. Пер. с англ. М., 1965; Гшнейднер К. А. Сплавы редкоземельных металлов. Пер. с англ. М., 1965. Ю. И. Бузнов

Ж

ЖАРОПРОЧНАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся жаропрочностью; вид конструкционной стали. Относится к сложнолегированным сталям (табл. с. 412). Характеризуется высоким сопротивлением ползучести и дли-

тельной прочностью (рис. 1), большим сопротивлением знакопеременным нагрузкам. Различают Ж. с. с интерметаллидным и карбидным упрочнением (см. *Карбиды*) на основе аустенитного гамма-твердого раство-

ра. Мех. св-ва Ж. с. повышают легированием молибденом, вольфрамом, ванадием, ниобием, алюминием, титаном, бором, церием и др. хим. элементами, а также закалкой на гамма-твердый раствор при t -ре 950—1150° С с охлаждением на воздухе и последующим старением (одинарным или двойным) при t -рах 750—800 и 650—750° С (рис. 2 на с. 412). При закалке избыточные фазы переходят в гамма-твердый раствор, придавая стали умеренную прочность (55—70 кгс/мм²) и высокую пластичность (30—40%). Последующее старение вызывает образование и выделение дисперсных частиц различных фаз, повышая прочность и жаропрочность. Прочность стали после старения составляет (t -ра 20° С) 75—100 кгс/мм². С повышением t -ры ис-

пытаний она постепенно снижается. Ж. с. выплавляют преим. в вакуумных индукционных или дуговых электр. печах, а также в индукционных и дуговых электр. печах (ду-плекс-процесс). Применяют и электрошлаковый переплав. Ж. с. используют в деформированном (см. *Деформируемая сталь*) и литом состоянии (см. *Литая сталь*). Из стали марок 09X14H16Б и 09X14H19B2БР изготовляют детали паровых установок высокого давления; из стали марки 08X16H13M2Б — поковки для дисков и роторов, лопатки и болты, эксплуатируемые при t -ре 600° С. Сталь марки 10X11H20T3Р используют для изготовления высоконагружен-

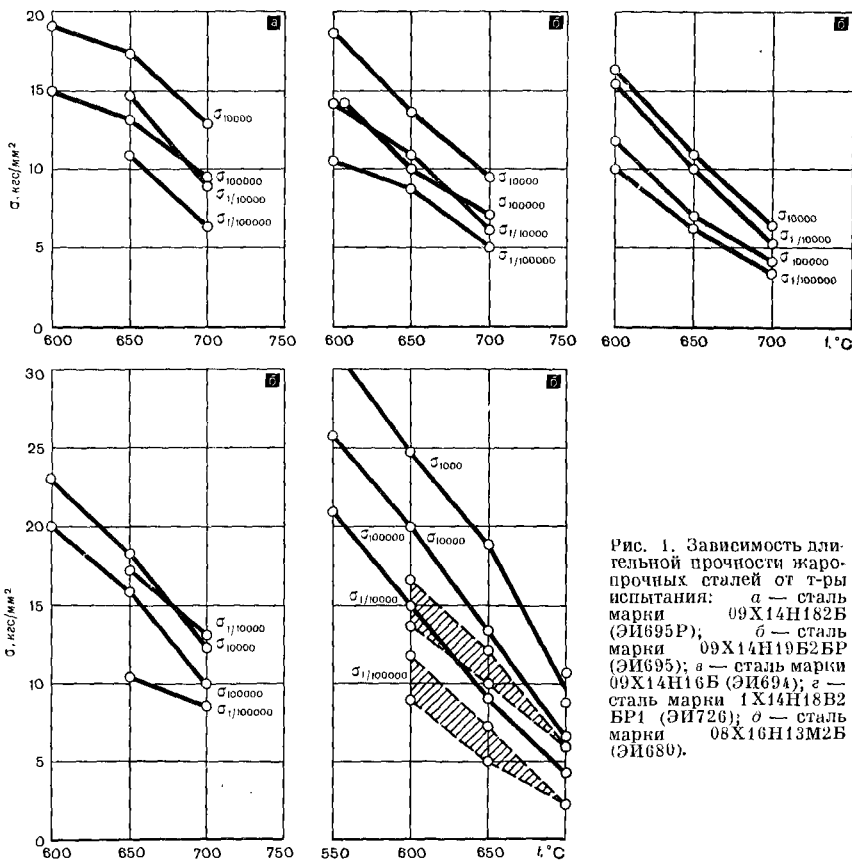


Рис. 1. Зависимость длительной прочности жаропрочных сталей от t -ры испытания: а — сталь марки 09X14H182Б (ЭИ695Р); б — сталь марки 09X14H19B2БР (ЭИ695); в — сталь марки 09X14H16Б (ЭИ694); г — сталь марки 1X14H18B2БР1 (ЭИ726); д — сталь марки 08X16H13M2Б (ЭИ680).

пых свариваемых деталей, эксплуатируемых при t -ре 500—750° С, кольцевых деталей, корпусов, соединительных колец и дисков; сталь

Лит.: Химшин Ф. Ф. Нержавеющие стали. М., 1967; Материалы в машиностроении. Справочник, т. 3. М., 1968; Ланская К. А. Жаропрочные стали. М., 1969; Химшин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М., 1969; Исследование конструктивных материалов для энергомашиностроения. Л., 1971.
Ф. Ф. Химшин.

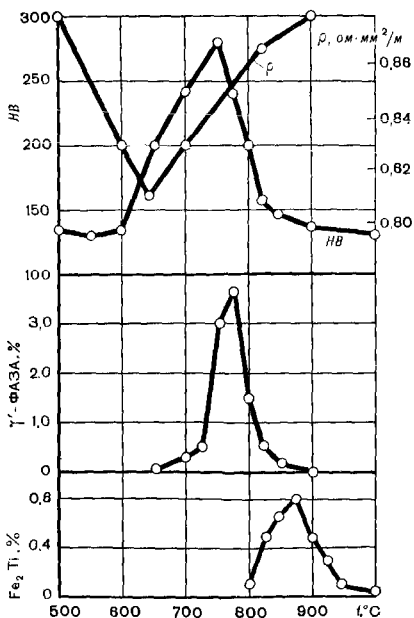
Химический состав жаропрочных сталей

Марка стали	Содержание элементов					
	C	Cr	Ni	Mo	Nb	
09X14H16B (ЭИ694)	0,07—0,12	13,0—15,0	14,0—17,0	—	0,9—1,3	
09X14H18B2B (ЭИ695P)	0,07—0,12	13,0—15,0	18,0—20,0	—	0,9—1,3	
09X14H19B2BP (ЭИ695)	0,07—0,12	13,0—15,0	18,0—20,0	—	0,9—1,3	
08X16H13M2B (ЭИ680)	0,06—0,12	15,0—17,0	12,5—14,5	2,0—2,5	0,9—1,3	
10X11H20T3P (ЭИ696)	Не более 0,10	10,0—12,5	18,0—21,0	—	—	
10X11H23T3MP (ЭИ696M, ЭП33)	Не более 0,10	10,0—12,5	21,0—25,0	1,0—1,6	—	
0X13H35TЮM3 (ЭП105)	0,1	12,0—15,0	33,0—37,0	3,0—3,8	—	
1X14H18B2BP1 (ЭИ726)	0,07—0,12	13,0—15,0	18,0—20,0	—	0,9—1,3	
ХН35ВТЮ (ЭИ787)	Не более 0,08	14,0—16,0	33,0—37,0	—	—	
31X19H9MBBT (ЭИ572)	0,28—0,35	18,0—20,0	8,0—10,0	1,0—1,5	0,2—0,5	
45X22H4M3 (ЭП48)	0,40—0,50	21,0—23,0	4,0—5,0	2,5—3,0	—	
20X23H18 (ЭИ417)	Не более 0,20	22,0—25,0	17,0—20,0	—	—	

Примечание: В скобках указаны заводские марки жаропрочных сталей.

марки 10X11H23T3MP — для изготовления турбинных и компрессорных дисков, кольцевых деталей корпуса турбины, соединительных колец, крепежных деталей, рабочих лопаток компрессоров, эксплуатируемых при t -ре до 650° С, пружин и др. упругих элементов. Диски турбины, эксплуатируемые при t -ре до 800° С, сварные роторы дисков с лопатками ВЖЛ-8 изготовляют из стали марки 0X13H35TЮM3; турбинные и компрессорные диски и лопатки, а также кольца — из стали марки ХН35ВТЮ; клапаны авиадвигателей, эксплуатируемые при t -ре до 600° С, — из стали марки 31X19H9MBBT. Ж. с. используют в судо-, автомобиле- и авиационной. Ж. с. аустенитного класса применяют в криогенной технике (см. Криогенные материалы). Марки, хим. состав Ж. с. и техн. требования к ним приведены в ГОСТе 5632—72.

Рис. 2. Зависимость свойств и фазового состава жаропрочной стали марки 10X11H20T3P от t -ры старения.



ЖАРОПРОЧНОСТЬ — свойство материалов сопротивляться деформированию и разрушению под воздействием механических нагрузок при высокой температуре. Является комплексным понятием, охватывающим высокотемпературные св-ва: сопро-

тов, %			
В	W	Ti	Прочие
—	—	—	—
0,005	2,0—2,75	—	0,02 Ce
Не более 0,005	2,0—2,8	—	Не более 0,02 Ce
—	—	—	—
0,008—0,02	—	2,6—3,2	Не более 0,8 Al
Не более 0,02	—	2,6—3,2	Не более 0,8 Al
До 0,015	—	2,0—2,6	2,4—3,2 Al, 0,1 Ce
0,025	2,0—2,75	—	0,02 Ce
Не более 0,02	2,8—3,5	2,4—3,2	0,7—1,4 Al
—	1,0—1,5	0,2—0,5	—
—	—	—	—
—	—	—	—

тивление ползучести, кратковременную и длительную прочность, длительную пластичность. Сопротивление ползучести характеризуется пределом *ползучести*, кратковременная прочность — пределом *прочности*, пределом *текучести* и *упругости*, относительным удлинением и сужением, *ударной вязкостью* (при данной т-ре), длительная прочность — пределом *длительной прочности*. Длительную *пластичность* оценивают в первом приближении величиной относительного удлинения и сужения при разрыве, более точно — некоторыми условными критериями (ресурсом пластичности, удлинением к началу третьего периода ползучести и т. д.), учитывая у металлических материалов характер *излома металла*. При оценке Ж. многих материалов длительная пластичность не менее важна, чем длительная прочность. Важное значение для Ж. (в основном металлических материалов) имеет стабильность мех. св-в, что связано со склонностью многих из

этих материалов к *дисперсионному твердению* в процессе высокотемпературной эксплуатации. Для большинства *жаропрочных сплавов* добиться полной стабильности мех. св-в невозможно, вследствие чего устанавливают допустимые пределы изменения значений этих св-в в зависимости от назначения сплава. Ж. наряду с *жаростойкостью* является осн. критерием пригодности материала для эксплуатации при высокой т-ре. См. также *Жаропрочная сталь*, *Жаропрочные материалы*, *Жаропрочный чугун*.

Лит.: О д и н г и. А. (и др.). Теория ползучести и длительной прочности металлов. М., 1959; Борздыка А. М. Методы горячих механических испытаний металлов. М., 1962; Станюкович А. В. Хрупкость и пластичность жаропрочных материалов. М., 1967; Розенберг В. М. Основы жаропрочности металлических материалов. М., 1973. А. М. Борздыка.

ЖАРОПРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, отличающиеся *жаропрочностью*. Ж. м., кроме того, обладают высоким сопротивлением ползучести и разрушению при высоких т-рах. К Ж. м. относятся жаропрочные сплавы на железной, никелевой и кобальтовой основах, тугоплавкие металлы и сплавы на их основе (см. *Тугоплавкие соединения*, *Тугоплавкие сплавы*), а также сложные *композиционные материалы*: металлоокисные, металлокарбидные и металлоинтерметаллидные соединения с различными жаропрочными свойствами. Жаропрочные (механические) и др. свойства различны для разных материалов и зависят от т-ры плавления основы, гомологических т-р, диффузионной подвижности, энергии связи атомов в сплавах и их структуры. В пределах каждой группы материалов и каждой основы (алюминиевые и магниевые, стали, никелевые, кобальтовые и тугоплавкие сплавы) механические свойства (*длительная прочность*, модуль Юнга, предел прочности на растяжение, *ударная вязкость* и др.) изменяются в широком интервале т-р в зависимости от *легирования* основы, методов плавки, термообработки и состава газовой среды (рис. 1 на с. 414). Жаропрочные сплавы на железохромоникелевой основе применяют

Химический состав и длительная прочность композиционных жаропрочных материалов, и другими сплавами

Марка композиционного материала (условное обозначение)	Материал матрицы	Материал волокон	Содержание элементов матрицы и волокон, %	Объемная часть волокон, %
А	ХН70Ю	—	Ni — 28Cr — 2,5Al — 1,0Fe	—
Б	ХН70Ю +	ЦМ2А	Mo — 0,07Zr — 0,07 — 0,3Ti — 0,004C	4, 11, 15, 19, 23
В	ХН70Ю	+ W	99,95W	14, 24, 26
Г	ХН70Ю	+ W	99,95W	26
Д	ЭП220	+ ЦМ2А	Mo — 0,7Zr — 0,07 — 0,3Ti — 0,004C	19
Е	ЭП202	W	99,95W	12
Ж	ВЖ98	Сетка из молибдена и молибденовой проволоки	Ni — 29Cr — 14W	35
	ЭИ435		Ni — 20Cr — 0,5Ti	35
	ЭИ435	W	Ni — 20Cr — 0,5Ti	35
	ЖС6Ж	W	Ni — 12Cr — 5Co — 4Mo — 5W — 2Fe — 0,02B — 0,10C	—

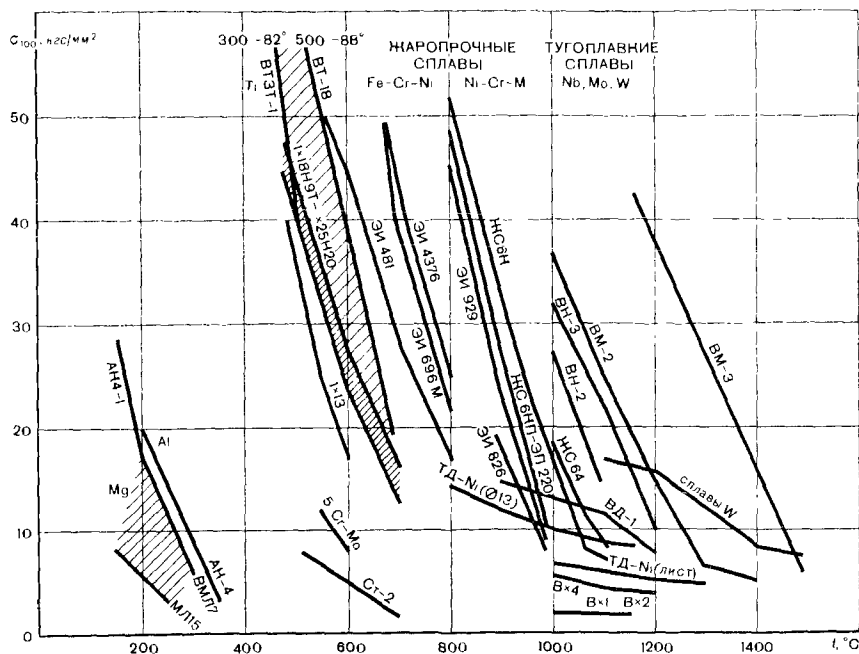


Рис. 1. Изменение длительной (100-часовой) прочности сплавов на алюминиевой, титановой, железной, никелевой и кобальтовой основах и на основе металлоокисных соединений, тугоплавких металлов и их сплавов.

упрочненных вольфрамовыми нитидами

Средний диаметр волокон, мм	σ_{100} , кгс/мм ²			
	900° С	1000° С	1100° С	1200° С
—	1,2	0,8	—	0,3
0,37	6,5	2,5	—	0,3
0,53	9,0	5,0	—	—
0,5	20	—	—	2,0
0,56	12	2,8	—	—
0,36	—	—	2,2	—
0,5	—	—	8,5	—
0,5	—	—	8,5	—
0,5	—	—	—	—
—	—	—	25—30	—

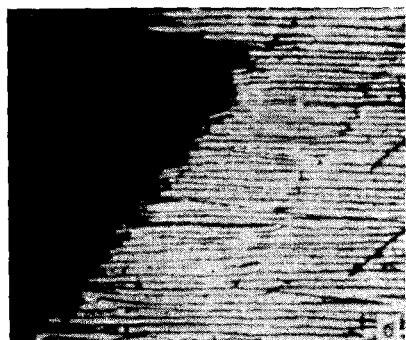
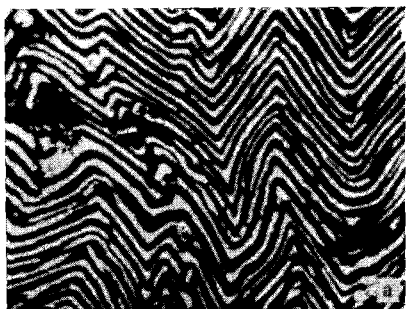


Рис. 2. Структура эвтектических сплавов на никелевой основе: а — поперечный разрез; б — продольный разрез с местом разрыва образца сплава типа $Ni - Ni_3Al - Ni_3Nb$.

под нагрузкой при т-рах 500—800° С (см. *Жаропрочная сталь*), высокожаропрочные сплавы на никелевой основе — при рабочих т-рах 650—900—1050° С, а сплавы на кобальтовой основе — при т-рах 800—1100° С. Высокие жаропрочные свойства и требуемую технологичность получают сложным легированием хромовых и кобальтохромовых сплавов и спец. методами вакуумной металлургии (см. *Жаропрочные сплавы*). Дисперсноупрочненные металлоокисные сплавы получают введением в никель или кобальт либо металлический сплав $Ni - 20\% Cr$ частиц тугоплавких окислов (ThO_2 , HfO_2 , ZrO_2 , Y_2O_3 и др.). Равномерное диспергирование инородных чрезвычайно мелких частиц тугоплавких окислов в металле тормозит перемещение дислокаций при нагрузке и способствует повышению мех. прочности и жаропрочности. Эти дисперсноупрочненные сплавы предназначены для рабочих т-р 1000—1200° С. У сплавов марки ВДУ более высокие значения жаропрочности при т-рах выше 900° С и значительная жаростойкость. Стойкость против окисления обусловлена образованием на поверхности сплавов тугоплавких и жаростойких окислов. Тугоплавкие металлы (ниобий, молибден, вольфрам, тантал, гафний, рений, хром) и сплавы на их основе, их окислы и интерметаллиды, отличающиеся высокими т-рами плавления и высокими прочностными свойствами при т-рах выше 1000—1200° С (до 1500° С), применяют в электронике, авиационной технике и др. В вакууме, нейтральных, восстановительных и некоторых жидкометаллических средах тугоплавкие металлы являются осн. материалами, обеспечивающими высокие эксплуатационные свойства. Однако в окислительных средах, среде воздуха, в продуктах сгорания топлива тугоплавкие металлы, кроме хрома, интенсивно окисляются. Поэтому их почти не применяют в деталях и узлах газотурбинных установок, эксплуатируемых при т-рах выше 1000° С в течение длительного времени (от 100 до 10 000 ч). В то же

время, используя спец. методы защиты поверхности, такие металлы можно применять кратковременно (продолжительность эксплуатации ограничивается несколькими десятками и сотнями часов, напр. изделий из ниобиевых сплавов с покрытиями). Продолжительность их эксплуатации на воздухе составляет 100—1000 ч. Разновидностью жаропрочных сплавов являются композиционные материалы, состоящие из жаростойкой матрицы сплавов на различных основах (железа, никеля, кобальта, систем сплавов железо — никель — хром, никель — хром — металл, кобальт — хром — металл и др.), армированных более тугоплавкими металлами и их сплавами или окислами в волокнистом, нитевидном или порошкообразном виде. Большинство тугоплавких металлов (вольфрам, тантал, ниобий) отличаясь высокими t -рами плавления, обладают высокими прочностными свойствами при t -рах выше 1000° С (до 1500° С), но подвержены разрушающему действию кислорода или насыщению из газовых сред. Поэтому армирование более прочными волокнами тугоплавких металлов в матрицах из жаростойких материалов и Ж. м. упрочняет композиционную систему в целом и одновременно матрица защищает эти

волоконна от разрушающего действия кислорода воздуха и др. кислород-содержащих сред. Композиционные материалы применяют при изготовлении различных элементов конструкций с целью уменьшения массы, а композиционные Ж. м. обеспечивают эксплуатацию деталей в условиях более высоких t -р или нагрузок (табл. на сс. 414—415). Ценны композиционные Ж. м. с эвтектической направленной кристаллизацией. К ним относятся сложнелегированные сплавы на никелевой, кобальтовой и др. основах эвтектических составов, в которых использовано образование продольно-чередующейся пластинчатой эвтектики при кристаллизации (рис. на с. 415). Эвтектики — из интерметаллидов систем никель (основа) — Ni_3Al — Ni_3Nb или никель (основа) — Ni_3Al — Ni_7Zr_2 и Ni_2Fe , Al . Эвтектический сплав системы Ni_3Al — Ni_3Nb соответствует составу никель (основа) — 23,1% Nb — 4,4% Al. Образующаяся при этом фаза имеет направленную чередующуюся кристаллизацию: для γ' -фазы в направлении осей (110), а для дельта-фазы — в направлении (100). Поверхности раздела фаз лежат параллельно: для γ' -фазы — направлению (110), а для дельта-фазы — направлению (100). Для двойной псевдэвтектической системы $NiAl$ (γ) и Ni_7Zr_2 (β) сплав соответствует составу никель (основа) — 7,4% Al — 17,3% Zr

Т а б л и ц а 1. Химический состав деформируемых жаропрочных сплавов

Марка (заводская марка) сплава	Содержание элементов				
	Ni	C	Cr	Co	Ti
ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	Основа	≤ 0,07	19—22	—	2,4—2,8
ХН70ВМТЮБ (ЭИ598)	— » —	≤ 0,12	16—19	—	1,9—2,8
ХН70ВМТЮ (ЭИ617)	— » —	≤ 0,12	13—16	—	1,8—2,3
ХН70ВМФТЮ (ЭИ826)	— » —	≤ 0,12	13—16	—	1,7—2,2
ХН55ВМТФКЮ (ЭИ929)	— » —	≤ 0,12	9—12	12—16	1,4—2,0
ХН70ВМТЮ (ЭИ765)	— » —	0,1—0,16	14—16	—	1,0—1,4
ХН67ВМТЮ (ЭИ202)	— » —	0,08	17—20	—	2,2—2,8
ХН73МБТЮ (ЭИ698)	— » —	≤ 0,08	13—16	—	2,35—2,75
ХН60МЮВТ (ЭП539)	— » —	0,04—0,09	17—19	—	2,0—3,0
ХН56ВМТЮ (ЭП99)	— » —	≤ 0,10	18—22	5—8	1,0—1,5
ХН56МТЮФ (ЭП199)	— » —	≤ 0,10	19—22	—	1,1—1,6
ХН65ВМТЮ (ЭИ893)	— » —	0,08	15—17	—	1,2—1,6
ХН62ВМКЮ (ЭИ867)	— » —	≤ 0,10	8,5—10,5	4—6	—
ХН56ВМКЮ (ЭП109)	— » —	≤ 0,10	8,5—10,5	11—13	—
(ЭП220)	— » —	≤ 0,08	9—12	14—16	2,2—2,9

при происхождении в виде пластинчатой формы для γ' (111) и β (100) с параллельными плоскостями раздела (т-ра плавления сплава 1190° С). Длительная прочность сплавов системы никель — Ni_3Al — Ni_3Nb с эвтектической направленной кристаллизацией соответствует: $\sigma_{1000} = 31 \text{ кгс/мм}^2$ (т-ра 980° С) и $\sigma_{1100} = 18 \text{ кгс/мм}^2$ (т-ра 1100° С). Сплавы с эвтектической направленной кристаллизацией имеют повышенные (по сравнению со сплавами на никелевой основе) жаропрочные свойства при высоких т-рах. У них несколько пониженная жаростойкость в среде воздуха и др. кислородсодержащих средах, преим. по плоскостям раздела пластинок, вследствие чего их защищают различными методами (диффузионным насыщением, *плакированием*). В поперечном направлении сплавы обладают пониженной пластичностью. Ж. м. применяют для изготовления деталей и изделий, эксплуатируемых под нагрузкой, в частности как материалы газовых и паровых турбин. Ж. м. регламентирует ГОСТ 5632—72. См. также *Жаростойкие сплавы*, *Жаропрочный чугун*.

Лит.: Тугоплавкие материалы в машиностроении. Справочник. М., 1967; Ланская К. А. Жаропрочные стали. М., 1969; Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М., 1969; Котельников Р. Б. [и др.]. Особо тугоплавкие элементы и соединения. Справочник. М., 1969; Елютин В. П. [и др.]. Высокотемпературные материалы, ч. 1. М., 1972;

Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. М., 1973; Портной К. И., Бабич Б. Н. Дисперсноупрочненные материалы. М., 1974. Ф. Ф. Химушин.

ЖАРОПРОЧНЫЕ СПЛАВЫ — сплавы, отличающиеся жаропрочностью. К Ж. с. относятся сплавы на железохромоникелевой (см. *Жаропрочная сталь*) или никелевой основе (табл. 1, 2). Осн. св-вами, характеризующими Ж. с., являются сопротивление ползучести, длительная прочность, сопротивление усталости (см. *Усталость материалов*). Различают Ж. с. деформируемые и литейные. Необходимой жаропрочности деформируемых Ж. с. добиваются спец. режимами термической обработки и легированием нихромовых сплавов кобальтом. Термическая обработка их состоит из гомогенизирующей *закалки* гамма-твердого раствора при т-ре 1000—1220° С в течение 2—6 ч, охлаждения на воздухе или в вакууме с последующим старением при т-ре 750—850° С в течение 8—16 ч и охлаждением на воздухе. Нагрев при т-ре гомогенизации переводит составляющие сплава в гамма-твердый раствор, а старение при умеренной т-ре способствует образованию в этом растворе мелких частиц интерметаллидов, *боридов* и *карбидов*, повышающих жаропрочность.

тов, %

Al	W	Mo	B	Cl	Fe	Прочие
0,6—1,0	—	—	≤0,01	≤0,01	≤1,0	≤0,07Cu, ≤0,001Pb
1,0—1,7	2,0—3,5	4—6	≤0,01	≤0,02	≤5,0	≤0,07Cu, 0,5—1,3Nb
1,7—2,3	5—7	2—4	≤0,02	≤0,02	≤5,0	≤0,07Cu, 0,1—0,5V
2,4—2,9	5—7	2,5—4,0	0,015	0,02	≤5,0	0,10Ba, 0,2—1,0V
3,6—4,5	4,5—6,5	4—6	0,02	—	≤5,0	0,10Ba, 0,2—0,8V
1,7—2,2	4—6	3—5	≤0,01	—	≤3,0	—
1,0—1,5	4—5	4,0—5,0	≤0,01	≤0,01	≤4,0	—
1,3—1,7	—	2,8—3,2	≤0,005	≤0,005	≤2,0	1,8—2,2Nb, ≤0,001Pb
3,0—4,0	2,5—4	5,0—7,0	0,02	≤0,02	≤4,0	—
2,5—3,5	6—8	3,5—5,0	≤0,005	≤0,002	≤5,0	—
2,1—2,6	9—11	4—6	≤0,008	—	≤4,0	—
1,2—1,6	9—10	3,5—4,5	—	—	≤3,0	—
4,2—4,9	4,3—6,0	9—11,5	≤0,02	≤0,02	≤4,0	—
5,2—5,4	6—7,5	6,5—8,0	≤0,02	≤0,01—0,02	≤1,5	—
3,9—4,8	5—7	5—8	≤0,02	—	≤3,0	0,2—0,8V, 0,009S, 0,015P

Тугоплавкие элементы (ванадий, молибден, ниобий, рений и тантал) повышают жаропрочность гамма-твердого раствора, а титан, алюминий и ниобий являющиеся элементами-упрочнителями, резко повышающими жаропрочность вследствие образования при старении интерметаллидных фаз типа $Ni_3(TiAl)(\gamma')$,

Ж. с. в среде воздуха и в продуктах сгорания топлива и др. газовых средах зависит от содержания легирующих элементов и определяется рабочей т-рой, сроком эксплуатации и составом сплава. Жаростойкость резко снижается в среде продуктов сгорания сырой нефти, мазута, в продуктах сгорания топлива с примесями морской воды. Хром и алюминий повышают ее. Если изделия из Ж. с. предназначены для

Т а б л и ц а 2. Химический состав литейных жаропрочных сплавов

Марка (заводская марка) сплава	Содержание в %						
	Ni	C	Cr	Co	Ti	Al	W
(ЖС-3)	Основа	0,11—0,16	14—18	—	1,6—2,3	1,6—2,2	4,5—6,5
(ЖСЗ-Д)	— » —	0,08—0,13	11—13	—	2,5—4,5	4,3—4,8	—
(ЖС-6К)	— » —	0,13—0,2	10,5—12,5	4—5	2,5—3,0	5—6	4,5—5,5
(АНВ-300)	— » —	≤ 0,10	14—17	—	1,4—2,0	4,5—5,5	7—10
(ВЖЛ-8)	— » —	0,1—0,2	4—7	—	1,8—2,5	2,5—3,5	—
ХН65ВМТЮ (ЭИ893Л)	— » —	≤ 0,10	15—17	—	1,2—1,5	1,2—1,6	9—10
(ЭП-99Л)	— » —	≤ 0,10	21—24	5—8	1,0—1,5	2,5—3,5	6—8
(ЭИ765Л)	— » —	0,10—0,16	14—16	—	1,0—1,4	1,7—2,2	4—6

$Ni_3Al(\gamma')$ или $Ni_3Ti(\eta)$. Кроме этих фаз, образуются карбиды ($Cr_{23}C_6$, M_6C , TiC , NbC , $TiCN$) и бориды $Cr_5B_3(\chi)$, $M_3B(\gamma)$, также повышающие жаропрочность. Образование инородных твердых и достаточно тугоплавких фаз, когерентно связанных с гамма-твердым раствором, тормозит дислокационные перемещения при высокой т-ре под действием мех. напряжений, что наряду с повышением жаростойкости твердого раствора обуславливает и повышение жаропрочности сплавов. Высоколегированные жаропрочные сплавы (напр., марок ХН55ВМТФКЮ и ЭП220) на 30—40% состоят из вкраплений кубических *гамма-фаз* и других твердых частиц. Скорость охлаждения в процессе закалки вследствие распада $\gamma \rightarrow \gamma'$ и образования др. фаз влияет на св-ва сплавов тем сильнее, чем сложнее легирование. Длительный нагрев при закалке влечет за собой обеднение поверхностного слоя изделий легирующими элементами (титаном, алюминием и др.), ухудшает их эксплуатационные качества. Дефектный слой удаляют резанием, полированием или электрохим. способом. Жаростойкость

длительной эксплуатации при т-ре выше 800° С, их поверхность дополнительно подвергают диффузионной термочим. обработке (*алитированию*, хромоалитированию, *эмалированию*, напылению тугоплавких окислов и т. п.). Деформируемые Ж. с. выплавляют в вакууме методами высокочастотной индукции, включая плазменный переплав, с высокими требованиями к чистоте сплавов. Полуфабрикаты из них изготавливают в виде прутков и поковок. В л и т е й н ы х Ж. с. образуются те же фазы, что и в деформируемых, но структура их отличается дендритностью (см. *Дендритная структура*). Междендритные объемы содержат, как правило, примеси легкоплавких элементов, окислы, сульфиды и др. легкоплавкие фазы, вследствие чего выплавку и разливку целесообразно осуществлять в вакууме или в среде аргона с применением особо чистых шихтовых материалов. Гомогенизация частично исправляет структурную неоднородность. Сложнолегированные литейные сплавы при охлаждении упрочняются, что обусловлено быстрым распадом твердого раствора (старением), но иногда изделия из этих сплавов подвергают гомогене-

пизпирующей закалке с высокими т-ре. и старению при умеренной т-ре. Изделия из литейных Ж. с. алитируют в сухих смесях или погружением в жидкий алюминиевый сплав с последующим диффузионным нагретом при высоких т-рах. Алитирование (хромоалитирование) повышает сопротивление окислению поверхностных слоев и термостойкость изделия. Ж. с. применяют для изготовления деталей паровых и газо-

вязкостью, обеспечивающей большую демпфирующую способность, и хорошими литейными св-вами: большой жидкотекучестью и обычной для высокопрочного чугуна (см. *Высокопрочный чугун с шаровидным графитом*) линейной усадкой (1,5—2,0%). Кроме того, Ж. ч. коррозионно- и эрозиянностоек в щелочах, слабых растворах к-т, в среде перегретых водяных паров и морской воде (см. *Коррозионная стойкость, Эрозиянностоек*). Отличается повышенным сопротивлением ползучести, удовлетворительно обрабатывается. Немагнитен.

Частичная замена никеля марганцем не снижает прочности при обычной и повышенной т-ре, но увеличивает ползучесть и несколько ухудшает коррозионные св-ва. В литом состоянии структура Ж. ч. — неоднородная и крупнозернистая, что снижает жаропрочность. Для измельчения карбидов, придания им округлой формы и макс. насыщения твердого раствора (аустенита) легирующими компонентами, повышающими предел прочности на растяжение (от 40 до 44—50 кгс/мм² при т-ре 20° С), Ж. ч. подвергают гомогенизирующему высокотемпературному отжигу при т-ре 1050° С в течении 4 ч или нормализации от т-ры 1030—1050° С с последующим отпуском при т-ре 550—620° С. Ж. ч. выплавляют в электр. печах. Из Ж. ч. изготавливают тяжелоагруженные изделия, эксплуатируемые при повышенной т-ре (до 600° С) в агрессивных средах: вставки гильз цилиндров, головки поршней, выхлопные коллекторы двигателей внутреннего сгорания, вентили, корпуса

вых турбин, двигателей внутреннего сгорания, эксплуатируемых при высокой т-ре, в авиационных реактивных двигателях, ракетостроении и в новой технике.

Лит.: Материалы в машиностроении. Справочник, т. 3. М., 1968; Ланска Я. А. Жаропрочные стали. М., 1969; Химущин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М., 1969.

Ф. Ф. Химушин.

ЖАРПРОЧНЫЙ ЧУГУН — чугун, отличающийся жаропрочностью. Используется с 20-х гг. 20 в. Относится к аустенитным чугунам с шаровидной формой графита, легированным никелем, хромом и марганцем (табл.). Структура Ж. ч. состоит из аустенита, карбидов и графита шаровидного. Обладает высокой циклической

Химический состав и свойства жаропрочных чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %						σ_B σ_T		σ_{H_2} , кгс/мм ²	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	кгс/мм ²		
				не более						
ЧН19ХЗШ	2,5—3,0	1,8—2,5	1,0—1,6	0,05	0,03	2,5—3,5	17—20	25	18	2,0
ЧН11Г7Х2Ш	2,5—3,0	1,8—2,5	5,0—8,0	0,05	0,03	1,0—2,5	10—12	30	18	2,0

Примечание: Механические свойства определены кратковременными испытаниями при т-ре 600° С.

турбонагревателей, газовых турбин, насосов, а также немагн. изделия. Высокая надежность (см. *Надежность материалов*) и относительная несложность получения фасонных изделий из этого чугуна позволяють иногда с большой экономической эффективностью заменять ими изделия из *жаропрочных сталей* и спец. сплавов. Марки и хим. состав Ж. ч. определены ГОСТом 11849—66.

Лит.: Материалы в машиностроении. Справочник, т. 4. М., 1969; Мильман Б. С. [и др.]. Свойства и применение легированных чугунов в странах СЭВ. «Титановое производство», 1971, № 3.

З. Д. Панченко.

ЖАРСТОЙКАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся *жаростойкостью*. Стойка против интенсивного окисления на воздухе или в других газовых средах при т-ре выше 550° С. Используется с конца 19 в. Жаростойкость обусловлена наличием на поверхности Ж. с. плотной и тонкой пленки *окислов*, достаточно прочно сцепленной с осн. металлом. Пленка состоит преим. из окислов легирующих элементов — хрома, кремния и алюминия, термодинамически более стойких, чем окислы железа. Содержание этих элементов определяет класс Ж. с. (табл. 1). Хром, являясь осн. легирующим элементом Ж. с., повышает жаростойкость пропорционально увеличению его содержания (рис.). Никель способствует образованию аустенитной структуры (см. *Аустенит*). Стали с такой структурой легче обрабатывать, они отличаются хорошими мех. св-вами. Добавки кремния (более 2%) и алюминия (более 0,5%) ухудшают мех. св-ва стали. Титан, ниобий и тантал связывают углерод в *карбиды*, предотвращая выделение карбидов хрома, которое обедняет близлежащую металлическую основу хромом и приводит к уменьшению жаростойкости. Молибден и вольфрам (в небольших количествах) незначительно повышают жаростойкость, но уменьшают склонность стали к *ползучести* при высокой т-ре. Если молибдена содержится более 3—4%, жаростойкость стали резко ухудшается из-за образования нестойких и рыхлых его окислов. Церий и бе-

риллий (до 1%) повышают жаростойкость. Ж. с. выплавляют гл. обр. в электр. дуговых печах с осн. футеровкой, в высокочастотных (индукционных) и вакуумных печах. Поскольку хром в расплавленной ванне окисляется сильнее, чем железо, расплавленный металл должен быть хорошо раскислен. Термообработка улучшает мех. св-ва сталей (табл. 2 на с. 422). Ж. с. характеризуется более узким температурным интервалом горячей обработки давлением и более высоким сопротивлением деформированию (см. *Деформируемость*), чем *углеродистые стали* или стали низколегированные (см. *Легированная сталь*). Режимковки или горячей прокатки зависит от класса стали. Ковку сталей мартенситного класса заканчивают при т-ре не ниже 850° С, охлаждают их медленно. Ковку или прокатку сталей полуферритного и ферритного классов во избежание роста зерна заканчивают при более низких т-рах (700—800° С), но с повышенными степенями деформации. Стали аустенитного класса менее склонны к росту зерна, их заканчивают прокатывать при т-ре не ниже 850° С. Ж. с. выпускают в виде прутков, листов и отливок, применяя их для изготовления изделий, эксплуатируемых в ненагруженном или слабонагруженном состоянии. Из стали мартенситного класса марки 15Х5 изготавливают трубы, теплообменники, колосники, из стали марки

Зависимость жаростойкости жаростойкой стали аустенитного (1) и ферритного (2) классов от содержания хрома.

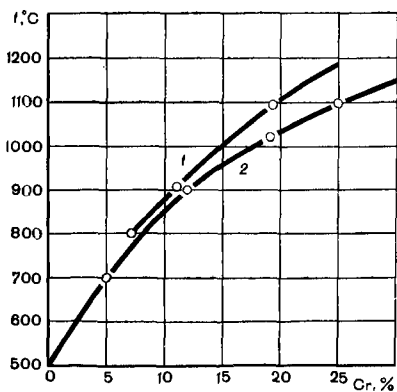


Таблица 1. Химический состав жаростойких сталей

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	S	P	Прочие
							не более		
Стали мартенситного класса									
15X5	Не более 0,15	Не более 0,5	Не более 0,5	4,5—6,0	—	—	0,025	0,030	—
40X9C2	0,35—0,45	2,0—3,0	Не более 0,8	8,0—10,0	—	—	0,025	0,030	—
40X10C2M	0,35—0,45	1,9—2,6	Не более 0,8	9,0—10,5	—	—	0,025	0,030	0,7—0,9 Mo
30X13H7C2	0,25—0,34	2,0—3,0	Не более 0,8	12,0—14,0	6,0—7,5	—	0,025	0,030	—
Стали мартенситоферритного класса									
15X6CЮ	Не более 0,15	1,2—1,8	Не более 0,5	5,5—7,0	—	0,7—1,1	0,025	0,030	—
12X13	0,09—0,15	Не более 0,8	Не более 0,8	12,0—14,0	—	—	0,025	0,030	—
Стали ферритного класса									
10X13CЮ	0,07—0,12	1,2—2,0	Не более 0,8	12,0—14,0	—	1,0—1,8	0,025	0,030	—
12X17	Не более 0,12	Не более 0,8	Не более 0,8	16,0—18,0	—	—	0,025	0,030	—
08X17T	Не более 0,08	Не более 0,8	Не более 0,8	16,0—18,0	—	—	0,025	0,035	0,80Ti
15X18CЮ	Не более 0,15	1,0—1,5	Не более 0,8	17,0—20,0	—	0,7—1,2	0,025	0,035	—
15X25T	Не более 0,15	Не более 1,0	Не более 0,8	24,0—27,0	—	—	0,025	0,035	0,80Ti
15X28	Не более 0,15	Не более 1,0	Не более 0,8	27,0—30,0	—	—	0,025	0,035	—
Стали аустенитоферритного класса									
08X20H14C2	Не более 0,08	2,0—3,0	Не более 1,5	19,0—22,0	12,0—15,0	—	0,025	0,035	—
20X20H14C2	Не более 0,20	2,0—3,0	Не более 1,5	19,0—22,0	12,0—15,0	—	0,025	0,035	—
20X23H13	Не более 0,20	Не более 1,0	Не более 2,0	22,0—25,0	12,0—15,0	—	0,025	0,035	—
Стали аустенитного класса									
09X14H16B	0,07—0,12	Не более 0,6	1,0—2,0	13,0—15,0	14,0—17,0	—	0,020	0,035	0,9—1,3Nb
36X18H25C2	0,32—0,40	2,0—3,0	Не более 1,5	17,0—19,0	23,0—28,0	—	0,020	0,035	—
55X20Г9АН4	0,50—0,60	Не более 0,45	8,0—10,0	20,0—22,0	3,5—4,5	—	0,030	0,040	0,30—0,60N
45X22H4M3	0,40—0,50	0,7—1,0	0,85—1,25	21,0—23,0	4,0—5,0	—	0,030	0,035	2,5—3,0Mo
10X23H18	Не более 0,10	Не более 1,0	Не более 2,0	22,0—25,0	17,0—20,0	—	0,020	0,035	—
20X23H18	Не более 0,20	Не более 1,0	Не более 2,0	22,0—25,0	17,0—20,0	—	0,020	0,035	—
20X25H20C2	Не более 0,20	2,0—3,0	Не более 1,5	24,0—27,0	18,0—21,0	—	0,020	0,035	—

40X9C2 (см. Клапанная сталь) — выпускные клапаны автомобильных, тракторных и дизельных двигателей, из сталей мартенситоферритного класса марок 15X6CЮ и 12X13 — детали котельных установок, турбин. Выпускные клапаны автомобильных двигателей изготавливают также из жаростойкой азотистой стали аустенитного класса

марки 55X20Г9АН4. Стали ферритного класса марок 10X13CЮ, 12X17 и 15X25Т применяют для изготовления труб пирролизных установок, электродов искровых зажигательных свечей, чехлов термопар. Из сталей аустенитоферритного и аустенитного классов изготавливают детали печной арматуры, реторты, трубы электролизных и пирролизных установок, подвески и опоры котлов. Марки, хим. состав Ж. с. и тех. требования к ним приведены в ГОСТе 5632—72.

Т а б л и ц а 2. Термическая обработка и свойства жаростойких сталей

Марка стали	Термическая обработка	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	σ_H , кгс/мм ²	НВ
15X5	Отжиг при т-ре 860 ± 10° С, охлаждение на воздухе	40	17	24	50	10	170
	Закалка при т-ре 950—980° С, охлаждение на воздухе	45	22	20	50	12	—
15X6CЮ	Отжиг при т-ре 760—800° С, охлаждение на воздухе или в масле	45	22	20	40	—	—
12X13	Отжиг при т-ре 740—780° С	40	—	20	—	—	—
	Отжиг	45	25	25	60	—	121—187
	Закалка при т-ре 1000—1050° С в масле или на воздухе и отпуск при т-ре 700—790° С, охлаждение на воздухе или в масле	60	42	20	60	9	170—207
10X13CЮ	Отжиг при т-ре 800—850° С, охлаждение на воздухе или в масле	50	35	15	60	—	—
12X17	Отжиг при т-ре 740—780° С, охлаждение на воздухе	40	25	20	50	2—8	156
	Отпуск при т-ре 760—780° С, охлаждение на воздухе	45	—	18	—	—	—
15X25Т	Без термической обработки или отжиг при т-ре 750 ± 20° С	45	30	20	45	—	143
	Отпуск при т-ре 740—780° С, охлаждение на воздухе или в воде	50	—	17	—	—	—
20X23Н13	Закалка при т-ре 1100—1150° С, охлаждение на воздухе, в масле или воде	50	30	35	50	—	170—180
20X23Н18	Закалка при т-ре 1080—1150° С, охлаждение в воде или на воздухе	55	—	40	—	—	—
	Закалка при т-ре 1100—1150° С, охлаждение на воздухе, в масле или воде	50	20	35	50	25	140—180

лит.: Химия углерода. Ф. Ф. Нержаевские стали. М., 1967; Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов. Пер. с англ. М., 1962; Окисление металлов, т. 2. Пер. с франц. М., 1969.

Н. П. Александрова.

ЖАРОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, отличающиеся повышенной жаростойкостью. Кроме того, Ж. м. обладают жаропрочностью, термостойкостью и заданными теплофизическими свойствами. По хим. и фазовому составу, а также некоторым структурным и технологическим признакам различают Ж. м. керамические — на основе тугоплавких окислов и их соединений или на основе бескислородных тугоплавких соединений (карбиды, бориды, нитриды, силициды); керамико-металлические; металлические; углеродистые; стеклокерамические и стеклокристаллические (ситаллы); композиционные. К Ж. м. относятся также тугоплавкое стекло, жаростойкие бетоны и цементы. Для Ж. м. характерны специфические свойства, обусловленные особенностями их состава и структуры. Так, Ж. м. на основе чистых окислов или бескислородных тугоплавких соединений обладают миним. *плотностью* при высоких *t-рах*, но склонны к разрушению при ударных мех. и нестационарных термических нагрузках. В качестве основы кислородсодержащих Ж. м. используют *окислы* щелочноземельных металлов, алюминия, кремния, а также окислы переходных металлов III и IV групп периодической системы. У окисных Ж. м. — высокое *электрическое сопротивление* и (за исключением BeO) небольшая *теплопроводность*. Они обладают наивысшей жаростойкостью на воздухе и в других кислородсодержащих газовых средах. Ж. м. на основе бескислородных тугоплавких соединений, а также тугоплавкие металлы отличаются высокой тепло- и электропроводностью и жаропрочностью. Термомех. характеристики металлических и неметаллических Ж. м. улучшают введением высококомплучных армирующих элементов (*нитевидных кристаллов*, поликристаллических *волокон*) и дисперсноупрочняющих фаз, а также предотвращением собирательной *рекристаллизации* при высоких температурах.

Углеродистые Ж. м. отличаются жаропрочностью в сочетании с высокой термостойкостью и низкой удельной массой. Жаростойкость таких материалов достигается нанесением жаростойких покрытий. В тугоплавких стеклах и ситаллах жаростойкость сочетается со спец. оптическими свойствами и низким коэфф. *термического расширения*. Материалы на основе окислов и тугоплавких соединений, керамико-металлические, композиционные и углеродистые материалы, жаростойкие бетоны и цементы получают из порошков с последующим формованием и отверждением (бетонов и цементов) или спеканием. Материалы на основе тугоплавких соединений и композиционные материалы могут быть получены методом горячего прессования. Металлические и некоторые композиционные Ж. м. на основе металлов получают методами металлургической технологии (плавление — литье — обработка давлением — термической обработка) с целью получения заданных свойств. Для повышения жаростойкости на металлических и углеродистые материалы наносят жаростойкие покрытия методами диффузионного насыщения, плазменного, газоплазменного или детонационного напыления, газоплазменного (пиролитического), электрофоретического осаждения. Так, молибденовые сплавы в результате обработки в парах кремния или в газовой смеси четыреххлористого кремния и водорода покрывают жаростойким слоем дисилида молибдена. Аналогичная обработка углеродистых материалов приводит к образованию на их поверхности жаростойкого покрытия из карбида кремния. Высокая жаростойкость некоторых тугоплавких соединений и металлических сплавов определяется их способностью образовывать при высоких *t-рах* в контакте с хим. агрессивной средой поверхностно плотные слои тугоплавких нелетучих продуктов взаимодействия, являющихся диффузионным барьером и уменьшающих скорость хим. реакции. Так, многие силициды, карбиды хрома и кремния,

а также стали, легированные хромом, кремнием и алюминием, при эксплуатации в кислородсодержащих газовых средах покрываются пленкой окислов. Чтобы образовалась плотная защитная пленка, необходимо, чтобы отношение объема окисла к объему металла было больше единицы, поскольку только в этом случае покрытие прочно держится на материале. Ситаллы получают из стекол спец. состава в системах $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O} - \text{BaO} - \text{SiO}_2$ или $\text{Li}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ с добавками TiO_2 , а также некоторых металлов (серебра, золота, меди, платины, хрома), являющихся катализаторами кристаллизации. Кристаллизация в ситаллах происходит в результате термической или фототермической обработки. Кварцевую керамику получают спеканием заготовок, спрессованных из порошков плавленного кремнезема. В результате в спеченном материале сохраняется структура аморфного кремнезема с регулируемым уровнем пористости и размером пор. Жаростойкие бетоны представляют собой гетерогенные материалы, в которых огнеупорный наполнитель (шамот, хромит, хромомagneзит) связан цементом. Чаще всего для этой цели используют высокоглиноземистые, периклазовые, бариево-могноалюминатные, а также фосфатные цементы. Ситаллы, жаростойкие бетоны и цементы, в которых основой служат кислородсодержащие фазы, обладают высокой жаростойкостью. Кроме того, в результате изменения хим. состава, а также технологических режимов получения материалов возможно регулирование в широких пределах коэфф. термического расширения, термомех. и электр. свойств. Стеклокерамические материалы на основе аморфного кремнезема отличаются высокой термической и коррозионной стойкостью, обладают теплоэлектроизоляционными свойствами. Преимуществом жаростойких бетонов и цементов является возможность создания из них крупногабаритных конструкций или футеровок, используя отверждение цементов при невысоких т-рах

(до 300—400° С). Ж. м. на основе тугоплавких окислов применяют при футеровке печей для плавления и термической обработки металлов и сплавов, из них изготавливают тигли, лодочки для плавления и выращивания монокристаллов чистых металлов и полупроводников, теплонапряженные детали ядерных реакторов, футеровки камер сгорания и каналов магнитогидродинамических генераторов открытого цикла. Из Ж. м. на основе бескислородных тугоплавких соединений изготавливают тигли и лодочки для плавления, зонной очистки и испарения чистых металлов и полупроводников, электронагреватели, электроды для электролизеров, чехлы термопар, электроды-токосъемники магнитогидродинамических генераторов. Керамико-металлические Ж. м. применяют для изготовления лопаток и роторов газовых турбин, блок-матриц для синтеза искусственных алмазов и кубического нитрида бора (см. также *Сверхтвердые материалы*), пресс-форм для горячего прессования, штампов для изотермического штампования изделий из жаропрочных сплавов; металлические Ж. м. — в произ-ве паровых турбин высокого давления, газовых турбин, котлов, теплообменников, катодов, сеток электровакуумных приборов. Углеродистые Ж. м. используют для футеровки металлургических печей, электролизеров, теплообменников и др., стеклокерамические материалы и ситаллы — для изготовления радиопрозрачных обтекателей, теплозащитных антенных вставок, форм для литья чугуна и алюминия, труб и дозаторов установок для непрерывной разливки стали и др. Жаростойкие бетоны и цементы применяют для обмазки топок котлов, камер сгорания и др. Композиционные Ж. м. используют в космической технике, металлургии, как огнеупорные элементы металлургических печей, эксплуатируемых в условиях наивысших термических напряжений. Из них изготавливают фильтры для аэрозолей, расплавов и растворов, эксплуатируемые в условиях коррозионного и эрозийного износа при повышенных т-рах. Параметры эксплуатации Ж. м. непрерывно возрастают в связи с форсированием

Лит.: Некрасов К. Д. Жароупорный бетон. М., 1957; Тугоплавкие материалы в машиностроении. Справочник. М. 1967; Будников П. П. [и др.] Новая керамика. М., 1969; Пивинский Ю. Е., Ромашин А. Г. Кварцевая керамика. М., 1974; Свойства конструкционных материалов на основе углерода. Справочник. М., 1975; Хейг Дж. Р. [и др.] Огнеупоры для космоса. Справочник. Пер. с англ. М., 1967; Киффер Р., Бенезовский Ф. Твердые материалы. Пер. с нем. М., 1968. Б. Г. Гусев

ЖАРОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ —

покрытия, отличающиеся жаростойкостью; вид защитных покрытий. Ж. п. защищают поверхность изделий от высокотемпературной коррозии в среде активных газов, а так-

Микроструктура жаростойкого покрытия (А) на никелевом сплаве марки ЖС6К (В), полученного алитированием при температуре 950° С за 4 ч, $\times 300$.



же предохраняют изделия от обеднения легирующими элементами (происходящего вследствие их *диффузии* к поверхности и окисления) и от насыщения их газами (рис.). Защитное действие покрытий обусловливается образованием на поверхности изделий плотной окисной пленки, отличающейся хорошим сцеплением с покрытием. Ж. п. наносят на изделия из стали, сплавов на основе железа, никеля, кобальта, титана, из цветных и тугоплавких металлов, из *графита* и др. материалов. Различают Ж. п. металлические, неметаллические и комбинированные. Основой большинства металлических покрытий являются сплавы или интерметаллические соединения (см. *Металлиды*) кремния, титана, алюминия, хрома, кобальта, иттрия и др. Возможно также применение покрытий из благородных металлов, напр. золота, платины, иридия. К неметаллическим покрытиям относятся стекломали: стеклосилицидные, стеклокварцосилицидные, боросилицидные и др., а также покрытия керамического типа — Al_2O_3 , Cr_2O_3 — Al_2O_3 , ZrO_2 и др. (в основном для одноразового действия). Комбинированные покрытия: силицидные с эмальевыми, интерметаллические с окисными и т. п. Перспективны многослойные покрытия, в которых чередуются в определенной последовательности слои покрытий разного типа. Качество Ж. п. зависит от предварительной подготовки поверхности: чистоты ее обработки, скругленности кромок, размеров отверстий, выбора вида резьбы и т. п. Выбор материала и толщины Ж. п. (от долей микрометра до нескольких миллиметров) обуславливается назначением покрытия, рабочей т-рой, составом среды, размером и конфигурацией изделия. Ж. п. наносят гальваническим и диффузионным способами, осаждением в вакууме, напылением, детонацией, *плакированием* или *эмалированием*. Гальванический способ заключается в электроосаждении металла из водных растворов и расплавов солей (покрытия хромовые, хромоникелевые, хромоалюминиевые, платиновые и

др.). Иногда изделия с нанесенными покрытиями подвергают диффузионному отжигу. Диффузионным способом поверхность изделий насыщают при высокой т-ре в порошковых

энергии взрыва. Чтобы создать Ж. п., чаще всего применяют хром, алюминий, кремний, никель, гафний, бор (см. также *Борирование, Алитирование, Алюминирование, Никелирование, Силицирование, Хромирование*). Для обеспечения надежной защиты изделий покры-

Химический состав жаростойких сплавов

Марка (заводская марка) сплава	Содержание элементов							
	C	Si	Ti	Al	Nb	W	Mo	B
20Х23Н18 (ЭИ417)	0,18	22—25	—	—	—	—	—	—
10ХН38ВТ (ЭИ703)	0,06—0,10	20—23	0,7—1,2	0,5	1,2—1,7	2,8—3,5	—	—
ХН28МАБ (ЭП126, ВЖ100)	0,10	19—22	—	—	0,7—1,3	4,8—6,0	2,8—3,5	—
ХН44МВТЮБР (ЭП718)	0,10	14—16	1,5—2,4	0,9—1,4	0,8—1,3	2,0—3,5	4,0—5,5	0,008
(ЭП437, ВЖ102)	0,10	14—16	1,8—2,3	<0,5	—	4,5—6,0	3—4	—
ХН78Т (ЭИ435)	0,12	19—22	0,15—0,35	0,15	—	—	—	—
ХН75МВТЮ (ЭИ602)	0,08	19—22	0,35—0,75	0,35—0,75	0,9—1,3	—	1,8—2,3	—
ХН70Ю (ЭИ852)	0,10	26,5—28,5	—	2,8—3,5	—	—	—	—
ХН60В (ЭИ868)	0,10	23,5—26,5	0,3—0,7	0,50	—	13—16	—	—
(ЭП708)	0,05—0,10	17,5—20,0	1,0—1,4	1,9—2,3	—	5,5—7,5	4,6—6,0	0,008
(ЭП99вд)	0,10	17,5—20,0	1,0—1,5	2,5—3,2	—	5,5—7,5	3,5—5,0	0,005
(ЭП693вд)	0,10	17—20	1,1—1,6	1,6—2,3	—	5—7	3—5	0,005

Примечание: В сплавах содержится до 1% кремния и марганца; серы и фосфора ЭИ417 и ЭИ703 — соответственно менее 0,025 и 0,035% Р.

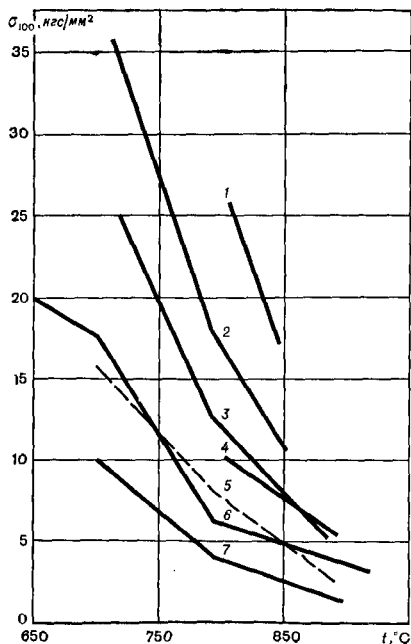
смесях, металлических расплавах, расплавах солей, в газовых и паровых средах с различной степенью разрежения. К этому способу относится также шликерный: из суспензий порошков различного состава, смешанных с растворителями и связующими веществами, на изделие наносят слой покрытия, после чего осуществляют отжиг, в процессе которого происходят диффузия элементов из этого слоя в основу и спекание покрытия. В условиях вакуума покрытия осаждают из паров металлов, окислов и др. соединений, образующихся вследствие испарения соответствующих веществ в электроннолучевых, ионных и электронно-ионных установках. Напыление покрытий осуществляют с помощью кислородно-ацетиленовых и плазменных горелок. Таким способом наносят покрытия любого состава, подвергая затем изделия, если это необходимо, диффузионному отжигу. Для нанесения покрытий детонационным способом используют

тия и окисные пленки на них должны иметь высокие мех. св-ва (*прочность, пластичность*), достаточную толщину, высокую прочность сцепления между слоями покрытий и материалом изделия, близкие по величине коэффициенты *термического расширения* (во избежание растрескивания и отслаивания). Важным св-вом Ж. п. при защите открыто излучающей поверхности изделий, нагреваемых до т-ры 1500—2000° С, является теплоотдача, определяемая коэфф. излучения (коэффициентом черноты). При высоком коэффициенте излучения покрытия поверхность изделия нагревается на несколько десятков и даже сотен градусов меньше. Чтобы уменьшить скорость изменения фазового состава покрытия и металла-основы, между основой и покрытием наносят жаростойкие *барьерные слои*, препятствующие диффузии кислорода в материал основы и легирующих элементов из основы на поверхность изделия. Ж. п. применяют для защиты дета-

лей в приборостроении и машиностроении, авиа- и ракетостроении и др. областях техники. Изделия из обычных сплавов с такими покрытиями экономически более выгодны, чем из жаростойких сплавов. Сплавы на основе тугоплавких металлов, имеющие высокие прочностные свойства

тов, %				
	Ce	Fe	Ni	Прочие
—	Основа	17—20	—	—
0,05 (по расчету)	— » —	35—39	—	—
0,005 (по расчету)	— » —	25—30	0,15—0,30 N	—
0,02	Остальное	40—46	—	—
—	— » —	27—30	0,02 Zr	—
—	—1,0	Основа	0,2 Cu	—
—	3,0	— » —	—	—
0,03	1,0	— » —	0,08 Ba	—
—	4,0	— » —	0,07 Ca	—
0,03	4,0	— » —	—	—
0,02	5,0	— » —	5—8 Co	—
—	5,0	— » —	5—8 Co	—

ра — менее 0,015—0,020%; в сплавах марок



при t -рах 1000—2500° С, вообще не могут применяться на воздухе или в другой окислительной среде без защитных жаростойких покрытий.

Лит.: Вульф В. К., Ромалин К. П. Авиационное металловедение. М., 1962; Жоров Г. А., Сивакова Е. В. Излучательная способность покрытий из дисилицида молибдена. «Теплофизика высоких температур», 1966, т. 4, № 2; Сивакова Е. В. (и др.). Механизм защитного действия силицидных покрытий на молибдене. В кн.: Высокотемпературные покрытия. М.—Л., 1967.

Е. В. Сивакова, А. С. Строев.

ЖАРСТОЙКИЕ СПЛАВЫ — сплавы, отличающиеся жаростойкостью. К Ж. с. относятся никель-хромистые и железохромоникелевые сплавы (табл., рис.), обладающие высоким сопротивлением газовой коррозии (см. *Коррозия металлов*) при высокой t -ре (800—1100° С) в среде воздуха и в др. газовых средах. Стойкость против газовой коррозии зависит от хим. состава сплава, t -ры, состава газовой среды, срока эксплуатации, величины мех. напряжений и цикличности нагрузки. Газовая среда, образующаяся при сгорании грубого нефтяного топлива или особо тяжелых топлив (мазута и т. п.), содержащих повышенное количество серы, ванадия, солей щелочных и щелочноземельных металлов и др., резко ухудшает коррозионную стойкость сплавов, уменьшая срок эксплуатации изделий из них. В очищенном топливе (напр., керосине, бензине) коррозия проявляется в меньшей степени. Однако с повышением рабочей t -ры или увеличением содержания примеси солей морской атмосферы она может быть катастрофической. Сплавы с большим содержанием хрома или сплавы, подвергнутые спец. легированию, а также изделия с диффузионными покрытиями, созданными в процессе алитирования, хромоалитирования или алюмосилицирования, отличаются более высокой стойкостью против газовой коррозии. Жаростой-

Зависимость длительной (100-часовой) прочности жаростойких сплавов от температуры (1 — сплав марки ЭП199; 2 — сплав марки ЭП437; 3 — сплав марки ЭП126; 4 — сплав марки ЭИ868; 5 — сплав марки ЭИ417; 6 — сплав марки ЭИ703; 7 — сплав марки ЭИ435).

кость сплавов обуславливается высоким содержанием хрома (18—25%), присадками алюминия, а железо-хромоникелевых сплавов, кроме того, — повышенным содержанием кремния (до 2—3%). Для оптимального сочетания жаростойкости, жаропрочности, пластичности и свариваемости в сплавы, кроме хрома, вводят молибден, вольфрам, ниобий, титан, бор, цезий и др. элементы. Ж. с. относятся к гомогенным (см. *Гомогенная структура*) и гетерогенным (см. *Гетерогенная структура*) сплавам. Гомогенные сплавы характеризуются несколько пониженными мех. св-вами и меньшей жаропрочностью, однако обладают хорошей пластичностью в холодном состоянии и высокой свариваемостью. Их значительная стойкость против окисления и газовой коррозии при высоких т-рах обусловлена образованием адгезионных тугоплавких окисных пленок (Cr_2O_3 , Al_2O_3 , NiCr_2O_4 , $\text{SiO}_2 + \alpha\text{Cr}_2\text{O}_3$ и др.), к-рые препятствуют диффузии кислорода в металл и легирующих элементов из металла в окалину. Присадки молибдена и бора, а также наличие серы в сочетании с никелем или кобальтом, обуславливая образование легкоплавких эвтектик с т-рой плавления около 650° С, могут резко ухудшать жаростойкость и жаропрочность сплавов. Гетерогенные сплавы, упрочненные титаном, алюминием и ниобием, часто одновременно с присадкой тугоплавких металлов, обладают высокими жаростойкостью и жаропрочностью, однако свариваются хуже, проявляя склонность к образованию горячих трещин при сварке и термической обработке. Эти сплавы сваривают в особых условиях, применяя присадочную проволоку и спец. режимы термообработки. Ж. с. изготавливают преим. методами вакуумной металлургии и горячей обработки давлением. Изделия из сплавов соединяют сваркой различных видов, как правило, с последующей термической обработкой. Ж. с. эксплуатируют при меньших нагрузках, чем жаропрочные сплавы. Применяют их для изготовления деталей камер сгорания, жа-

ровых труб, сопловых лопаток газовых турбин, форсажных камер, силовых узлов, элементов сварных конструкций и др. См. также *Жаропрочные материалы*.

Лит.: Химушин Ф. Ф. Пержавещие стали. М., 1967; Ланская К. А. Жаропрочные стали. М., 1969; Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М., 1969. Ф. Ф. Химушин.

ЖАРОСТОЙКИЙ БЕТОН — бетон, отличающийся жаростойкостью. Ж. б. классифицируют по предельно допустимой т-ре применения, объемной массе, структуре, прочности на осевое сжатие, виду вяжущего, виду заполнителя, способу укладки и уплотнения. По предельно допустимой т-ре применения Ж. б. подразделяют на классы 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 и 18. За номер класса принимают предельно допустимую т-ру применения в градусах Цельсия, деленную на 100. За низший класс (класс 3) принята т-ра 300° С, при к-рой допустимо использование некоторых из обычных (общестроительных) бетонов. В зависимости от объемной массы различают Ж. б. особо тяжелые — объемной массой более 2500 кг/м³; тяжелые — объемной массой 2200—2500 кг/м³; облегченные — объемной массой 1800—2200 кг/м³; легкие — объемной массой 500—1800 кг/м³; особо легкие — объемной массой до 500 кг/м³. По структуре Ж. б. подразделяют на бетоны плотной структуры, у к-рых пространство между зернами заполнителя занято затвердевшим вяжущим; бетоны поризованные, у к-рых пространство между зернами занято затвердевшим вяжущим, поризованным пено- и газообразователем; бетоны ячеистой структуры с искусственно созданными порами, состоящие из смеси вяжущего и тонкомолотого заполнителя. В зависимости от прочности на сжатие Ж. б. подразделяют на марки: особо тяжелые и тяжелые — 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 и 500; облегченные — 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350 и 400; легкие — 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350 и 400; особо легкие ячеистые и поризованные — 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100 и 150. В зависимости от вида вяжущего различают Ж. б. на гидравлических вяжущих: *портландцементе*, *быстро-*

По виду заполнителя различают Ж. б. на заполнителях различающихся по составу; Ж. б. на заполнителях из боя огнеупорных и тугоплавких изделий, *глиняного кирпича*; Ж. б. на заполнителях из лома, получаемого при разборке футеровок тепловых агрегатов, выполненных из огнеупорных и тугоплавких материалов, жаростойкого бетона; Ж. б. на заполнителях из отходов произ-ва тепловых электростанций, металлургической и др. отраслей пром-сти (*шлаки доменные, электротермофосфорного произ-ва, углеродистого феррохрома, топливные или котельные и др.*); Ж. б. на заполнителях из горелых пород (глистей); Ж. б. на заполнителях из естественных горных плотных пород (*кварцита, базальта, диабазы, андезита, диорита*); Ж. б. на пористых заполнителях из естественных горных пород (*туфа, вулканического шлака, пемзы, пепла и др.*); Ж. б. на специально изготовленных пористых заполнителях (*керамзите, аглопорите, в т. ч. ганджапорите и гумбрипорите, шунгизите, вспученном перлите, вермикулите и др.*). Заполнители для Ж. б. не должны разрушаться при максимальной допустимой т-ре применения бетона. По степени *огнеупорности* различают заполнители высшей огнеупорности (т-ра выше 2000° С), высокоогнеупорные (т-ра 1770—2000° С), огнеупорные (т-ра 1580—1770° С), тугоплавкие (т-ра 1350—1580° С) и легкоплавкие (т-ра ниже 1350° С). В зависимости от крупности зерен заполнители бывают мелкие (песок с размером зерен до 5 мм) и крупные (щебень с размером зерен 5—40 мм). В Ж. б. вводят *тонкомолотые добавки* (микрозаполнители) — искусственные и природные минеральные сыпучие материалы — с целью экономии вяжущего и обеспечения эксплуатационных св-

бетонов при т-рах выше 350° С. Тонкость помола добавок должна быть такой, чтобы при просеивании через сито 008 остаток на нем не превышал 30% массы навески. В зависимости от расхода вяжущего и уплотнения Ж. б. подразделяют на вибрированные, трамбованные, пресованные, торкретированные и нанесенные пневматическим или мех. способом. Ж. б. применяют в несущих и не несущих, монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкциях и изделиях при воздействии на них т-ры выше 200° С, напр. при возведении фундаментов тепловых агрегатов, сооружениях и футеровке паровых котлов, пром. печей и пр. Разновидность Ж. б. — огнеупорный бетон, получаемый в результате твердения смеси вяжущих, воды или водных растворов, огнеупорного заполнителя и добавок. Этот бетон твердеет при нормальной или повышенной т-ре, обладает ограниченной усадкой при т-ре применения. Его огнеупорность — от т-ры 1580° С и выше. Огнеупорные бетоны классифицируют в основном по химико-минеральному составу огнеупорного заполнителя; типу вяжущего; огнеупорности; открытой пористости после нагрева при т-ре 800° С в течение 2 ч; макс. т-ре применения, при к-рой в течение 5 ч без нагрузки усадка составляет не более 1%; способу укладки и уплотнения. В зависимости от типа вяжущего различают бетоны на минер. вяжущих: периклазовом, высокоглиноземистом, глиноземистом и портландском цементах, жидком стекле, фосфатных и сульфатных связках, огнеупорной глине; бетоны на органических и минерально-органических вяжущих. По степени огнеупорности бетоны подразделяют на огнеупорные, высокоогнеупорные и высшей огнеупорности. В зависимости от открытой пористости различают бетоны плотные (с открытой пористостью до 16%), повышенной плотности (16—20%), обычной плотности (20—30%), пониженной плотности (30—45%) и низкой плотности (45—85%). В зависимости от макс. т-ры применения

огнеупорные бетоны подразделяют на группы: первая — макс. т-ра применения 1100° С, вторая — т-ра 1200° С, третья — т-ра 1300° С, четвертая — т-ра 1400° С, пятая — т-ра 1500° С, шестая — т-ра 1600° С, седьмая — т-ра 1700° С и восьмая — т-ра применения выше 1700° С. По способу укладки и уплотнения различают бетоны литые, вибрированные, трамбованные, торкретированные и нанесенные пневматическим или мех. способом. Огнеупорные бетоны применяют в виде изделий (блоков) или монолитных футеровок тепловых агрегатов. Свойства Ж. б. регламентируются ГОСТами; 19038—73, 4385—68, 20940—75 и 20955—75.

Лит.: Некрасов К. Д. Жароупорный бетон. М., 1957; Некрасов К. Д., Тарасова А. П. Жароупорный химически стойкий бетон на жидком стекле. М., 1959; Некрасов К. Д., Тарасова А. П. Жаростойкий бетон на портландцементе. М., 1969.

Н. Ю. Пришвинникова.

ЖАРСТОЙКИЙ ЧУГУН — чугун, отличающийся жаростойкостью. Стоек против интенсивного окисления и роста (см. *Рост чугуна*) на воздухе и в др. газовых средах при повышенной т-ре. Используется с 20-х гг. 20 в. Ж. ч. (табл.) подразделяют на *серый чугун* (с графитом пластинчатой или шаровидной формы), *белый чугун* (с эвтектическими или заэвтектическими карбидами) и *легированный чугун*, напр. *алюминиевый*, *кремнистый* и *хромистый* с ферритной (см. *Феррит*), перлитной

(см. *Перлит*, *Мартенсит* в металловедении), аустенитной (см. *Аустенит*) или мартенситной (см. *Мартенсит*) металлической основой. Осн. легирующими элементами в Ж. ч. являются алюминий, хром и кремний. Кроме того, чугун легируют никелем и марганцем. Другие элементы (молибден, медь, титан и редкоземельные металлы) также улучшают его физико-мех. св-ва. Содержание легирующих элементов определяется назначением чугуна при условии, что на его поверхности образуются защитные окисные пленки. Стойкость к росту чугуна повышают, не допуская внутреннего окисления, *графитизации* и фазовых превращений в температурной зоне эксплуатации. Для серых и белых Ж. ч. предпочтительна однофазная (аустенитная или ферритная) металлическая основа с разобращенными кристаллитами графита или с устойчивыми карбидами легирующих элементов. Жаростойкость чугуна повышается при переходе графита от пластинчатой к шаровидной форме. Легированный кремнием или алюминием чугун подвержен обезуглероживанию, протекающему при наличии в рабочей среде кислорода, двуокиси углерода и водорода. Со временем оно прекращается, и тогда взаимодействие окислительных компонентов рабочей среды с чугуном часто развивается по схеме *межкристаллитной коррозии*. Обезуглероживание предотвращают добавками к чугуну хрома (0,5—0,8%). Воздействие на чугун газовых сред (кислорода, воздуха, водяного пара,

Химический состав и рабочая температура жаростойких чугунов

Чугун	Содержание элементов				
	C	Si	Al	Cr	Ni
Алюминиевый высокопрочный с шаровидным графитом	2,6—2,8	1,0—3,0	5,0—6,0	0,2—0,5	До 1,0
Кремнийалюминиевый обычный и высокопрочный с шаровидным графитом (термогал)	1,8—2,5	4,0—5,0	6,0—16,0	0,2—0,06	До 2,0
Алюминиевый (пироксидаль)	1,0—1,5	0,1—0,8	28,0—32,0	0,8—1,5	1,0—3,0
Никелькремнистомедный обычный и высокопрочный с шаровидным графитом (никросилал)	2,6—2,8	4,0—6,0	2,0—3,0	0,8—5,0	16—20,0
Никельмедный обычный и высокопрочный с шаровидным графитом (нирезист)	2,4—2,8	1,5—2,5	2,0—3,0	0,5—1,0	18,0—25,0
Хромоалюминиевый	1,5—2,5	0,5—0,8	2,0—10,0	16,0—20,0	2,0—5,0
Хромомарганцевый	1,8—2,5	0,4—0,6	2,0—4,0	18,0—20,0	1,0—4,0

двуокиси углерода, окиси углерода) различно. Так, легированные чугуны жаростойки в воздухе до т-ры 1000—1100° С, в парах воды — только до т-ры 800—850° С. Предельный рост чугуна (50—70%) происходит в среде двуокиси углерода с парами воды. Наиболее опасно для долговечности чугуна чередование окислительной и восстановительной сред. Низкой жаростойкостью в среде, содержащей серу, отличается чугун, легированный никелем. Относительно высокой сопротивляемостью действию такой среды характеризуется чугун, легированный хромом (25—35%), кремнием (12—14%) и алюминием (16—24%). Окисные пленки полностью разрушаются на высоколегированных марганцовистых (12—16% Mn) и никелевых (18—25% Ni) чугунах вследствие существенного различия в законах изменения (в зависимости от т-ры) коэфф. линейного расширения окисного слоя и осн. металла, а также слабой адгезии пленки. Жаростойкость таких чугунов повышают дополнительным легированием хромом (2—5%), кремнием (4—6%) и алюминием (4—6%). Церий, лантан или иттрий (0,2—0,3% каждого) повышают жаростойкость (при т-ре 1000—1100° С) хромистого (≥ 12 —14% Cr) и алюминиевого (12—16% Al) чугуна в 1,5—2,5 раза. Наиболее значительный рост чугуна происходит вследствие внутреннего окисления. В результате графитизации *цементита* изменение линейных размеров отливки не превышает 0,5—0,6%. Кроме то-

го, рост вследствие графитизации не столь резко ухудшает физико-мех. св-ва чугунов, как рост при окислении. При термоциклировании объемные изменения чугуна могут быть вызваны также фазовыми превращениями и диффузионным порообразованием из-за растворения и выделения графита. Термоциклирование особенно опасно для роста чугуна в условиях больших скоростей нагрева и охлаждения, а также воздействия химически агрессивных компонентов рабочей среды. Под влиянием даже небольших, но многократно повторяющихся фазовых и термических напряжений образуются *трещины*. Поры и трещины способствуют протеканию внутреннего окисления как серых, так и белых чугунов и, тем самым, быстрому разрушению. Чувствительность чугуна к образованию трещин (термическому удару) повышается с ростом степени легированности хромом, алюминием и кремнием. Улучшают эту характеристику добавками никеля и молибдена. Из малолегированных (0,5—2,7% Cr) Ж. ч. перлитного класса марок ЖЧХ изготавливают изделия, эксплуатируемые до т-ры 550—650° С. При т-ре 800—900° С используют изделия из чугуна, содержащего 5,0—6,0% Si, марок ЖЧС и ЖЧСШ ферритоперлитного класса с пластинчатой или шаровидной формой графита. При эксплуатации выше т-ры 1000° С изделия изготавливают из хромистого чугуна (23—32% Cr) ферритного класса марки ЖЧХ-30, обычного алюминиевого (19—25% Al) и *высокопрочного чугуна* с шаровидной формой графита также ферритного класса марок ЖЧЮ и ЖЧЮШ. Физико-мех. и литейные св-ва Ж. ч. приведены в ГОСТе 7769—63.

Лит.: Бобро Ю. Г. Жаростойкие и ростоустойчивые чугуны. М.— К., 1960; Александров Н. Н., Ключев Н. И. Технология получения и свойства жаростойких чугунов. М., 1964; Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна и отливок. М.— Л., 1966. Ю. Г. Бобро.

ЖАРОСТОЙКОСТЬ — свойство материалов противостоять химическому разрушению при высокой температуре. Ж. металлов (сплавов) в

тов, %			Рабочая температура, °С
Mn	Cu	Ti	
0,2—0,4	—	0,2—0,4	850—950
0,3—0,5	—	0,4—0,6	900—1100
0,2—0,4	—	0,4—0,8	1000—1100
4,0—8,0	2,0—4,0	0,5—0,8	850—950
0,2—0,6	2,0—5,0	0,3—0,6	800—900
0,2—0,4	—	0,2—0,5	1000—1100
24,0—26,0	—	0,2—0,5	850—950

окислительной среде обуславливается св-вами образующейся на поверхности *окарины*, затрудняющей *диффузию* газов внутрь металла и тем самым препятствующей развитию коррозии (см. *Коррозия металлов*). В неметаллических материалах (напр., *бетоне*), на поверхности к-рых не образуется защитный слой, газовая

поверхность образца; F — площадь поверхности образца. Зависимость этого отношения от времени графически изображается кривыми параболического типа, а в логарифмических координатах — прямыми линиями (рис.). Иногда определяют среднечасовое изменение массы за время τ , т. е. $W_\tau = W/\tau$, отождествляя эту величину со средней скоростью коррозии. Достаточно удобен линейный показатель жаростой-

Предельная температура применения металлов (сплавов), обусловленная их жаростойкостью в окислительной среде

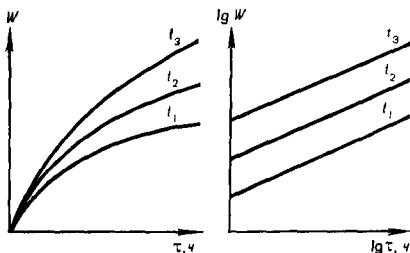
Металл	Предельная температура применения, °C	Сплав	Предельная температура применения, °C
Алюминий	400	Fe — 8 + 10% Cr	700—750
Медь	450	Fe — 12 + 14% Cr	750—800
Железо	500	Fe — 16 + 18% Cr	850—900
Титан	500	Fe — 25 + 30% Cr	1050—1100
Молибден	600	Fe — 7 + 9 Cr — 1,5 + 2% Al	900
Никель	800	Fe — 12 + 20 Cr — 3 + 4% Al	900—1000
Вольфрам	800	Fe — 18 + 20 Cr — 3 + 4% Al	1100—1200
Хром	1000	Fe — 20 + 25 Cr — 3 + 5% Al	1200—1250
		Fe — 30% Cr — 5% Al	1300

коррозия может распространиться вглубь и в конечном счете привести к мех. разрушению. Вследствие этого под Ж. таких материалов часто понимают их способность противостоять не только хим., но и мех. разрушению при высокой т-ре (см. *Жаростойкий бетон*). Св-ва окарины зависят от теплоты образования, т-ры плавления и упругости диссоциации образующих ее *окислов*. Защитные св-ва окарины повышают элементы (напр., хром), обладающие большей хим. активностью, чем осн. металл (железо), и образующие жаростойкие окислы (напр., Cr_2O_3), а также более сложные окислы типа $\text{MO} \times \text{M}_2\text{O}_3$ (*шпинели*). Если в окарине есть легкоплавкие или легко диссоциирующие окислы, она не будет служить защитным слоем. Ж. металлов (сплавов) в окислительной среде обуславливает предельную т-ру их применения (табл.).

Для количественной характеристики Ж. металлов (сплавов) используют отношение $W = \Delta m/F$, где Δm — масса окарины, удаленной с

кости ΔS , характеризующий глубину коррозии за определенное время. Величину ΔS определяют экспериментально (используя микроскоп) или (если слой окарины равномерен) по ф-ле $\Delta S = 8,76 W/d$, где d — плотность металла. Ж. высока, если $\Delta S = 0,1 \div 1,0$, и удовлетворительна, если $\Delta S = 1 \div 3$ мм/год. Специфическими видами являются Ж. в восстановительной среде (напр., в водороде, серо-

Зависимость отношения массы окарины к площади поверхности образца от времени, определяющая жаростойкость металлов (сплавов) при температурах $t_1 < t_2 < t_3$.



водороде), определяемая глубиной обезуглероженного слоя; Ж. в водорододе высокого давления (водородостойкость); Ж. в продуктах сгорания жидких топлив, содержащих окисел ванадия, к-рый в контакте с поверхностью изделий из сплавов на основе железа или никеля при температуре выше 650° С резко увеличивает глубину окисленного слоя (ванадиевая коррозия). Ж. наряду с жаропрочностью является осн. критерием пригодности материала для эксплуатации при высоких температурах. См. также *Жаростойкий чугун*.

Лит.: Игнатов Д. В., Шамгунова Р. Д. О механизме окисления сплавов на основе никеля и хрома. М., 1960; Химущин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М., 1969; Кубашевский О., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов. Пер. с англ. М., 1965. А. М. Борздыка.

ЖЕЛЕЗА СПЛАВЫ — сплавы на основе железа. Различают: сплавы железа с углеродом — *железоуглеродистые сплавы* (стали, чугуны); сплавы железа с углеродом и различными легирующими элементами

Осажденный из сернокислого электролита слой железа (А) на чугуне (Б), $\times 100$.



ми — *легируемые стали и легируемые чугуны* (к этой группе Ж. с. относятся также практически безуглеродистые спец. сплавы на основе железа); жаропрочные, магнитные и др.); сплавы железа с различными элементами (в основном металлами) — *ферросплавы*. Ж. с. составляют 95% всей металлической продукции, производимой в мире.

Лит. см. к ст. Железоуглеродистые сплавы. В. С. Черненко.

ЖЕЛЕЗНЕНИЕ — нанесение слоя железа на поверхность металлических изделий. Дает возможность повышать поверхностную твердость и износостойкость изделий, восстанавливать размеры изношенных частей машин, улучшать сцепление оловянных и цинковых покрытий с поверхностью изделий из чугуна и др. Ж. осуществляют электролитическим способом. При высокой плотности тока и наличии в электролите спец. добавок получают слои железа, твердость к-рых равна (а иногда и превышает) твердости термически обработанной стали (Ж. часто называют *осталиванием*). Перед Ж. изделия обезжиривают в горячих щелочных растворах с добавками эмульгаторов, травят в 10—15%-ном растворе соляной кислоты хим. способом или в 30%-ном растворе серной кислоты электролитическим способом при комнатной т-ре и плотности тока на аноде 10—20 $\text{a}/\text{дм}^2$ в течение 1—5 мин, промывают и сушат. При частичном Ж., напр. для восстановления изношенных деталей, на участки поверхности, не подлежащие покрытию железом, наносят изоляционный лак или др. неэлектропроводный материал. Ж. проводят в стационарных прямоугольного сечения ваннах из листовой стали, покрытых изнутри кислотостойким материалом — свинцом (для сернокислых растворов), керамическими материалами, резиной и др. Для Ж. применяют гл. обр. растворы сернокислой, хлористой и борфтористоводородной солей двухвалентного железа, в к-рых поддерживается определенная кислотность в зависимости от т-ры раствора и плотности тока. Так, для

нанесения слоя железа (рис. на с. 433) используют сернокислые электролиты (в г/л): $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 400$; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O} - 100$; $\text{pH} = 2,5-3,0$ либо $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 400$; $\text{K}_2\text{SO}_4 - 150$; $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 - 1$; $\text{pH} \approx 2,5$. Т-ра их от 20 до 70° С, соответствующая ей плотность тока на катоде (толщина слоев до 200 мкм) от 3 до 10 а/дм² без перемешивания и от 5 до 15 а/дм² при перемешивании электролита. Катодный выход железа по току в первом электролите — 70—90%, во втором 95—100%. Микротвердость слоев железа в первом электролите равна 200 ÷ 350 кгс/мм², во втором (т-ра 20—40° С) 350 ÷ 600 кгс/мм². Примерный состав хлористых электролитов (в г/л): $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 600$; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 50$ ÷ 150; $\text{HCl} - 0,04$ ÷ 0,05 (т-ра 70° С, плотность тока на катоде до 15 а/дм²) или $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 500$ ÷ 750; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 15$ ÷ 30; аскорбиновой кислоты — 0,5 ÷ 2; $\text{pH} = 0,8$ ÷ 1,6 (т-ра 20—40° С, плотность тока на катоде до 15—20 а/дм², выход железа по току 80—90%, микротвердость слоев до 600—700 кгс/мм²). Состав борфтористоводородного электролита

(в г/л): $\text{Fe}(\text{BF}_4)_2 - 300$; $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20$; $\text{HBF}_4 - 1$ ÷ 2; $\text{pH} = 3,0$ ÷ 3,6. Т-ра 20—60° С, плотность тока на катоде 2—10 а/дм². Выход железа по току 60—95%, микротвердость слоев до 500—600 кгс/мм². Аноды во всех электролитах — из чистого железа (напр., армо-железа или малоуглеродистой стали). Для повышения износостойкости и маслосъемности трущихся поверхностей создают также пористые железные покрытия (с равномерной сеткой микротрещин), получаемые из хлористого электролита (второго в примере), к которому добавляют 100 г/л KCl или NaCl при $\text{pH} = 1,2-2,5$. В горячих электролитах значение pH должно быть на уровне 1—2, для чего в раствор периодически или непрерывно добавляют соответствующую кислоту. В холодных и теплых электролитах при $\text{pH} > 2$ применяют добавки (сернокислые соли аммония, алюминия, калия, некоторые органические кислоты), сообщающие раствору буферные св-ва и предохраняющие его от окисления. Концентрация соли железа устанавливается в соответствии с заданной плотностью тока и т-рой электролита. При комнатной т-ре и плотности тока на катоде не выше 5—6 а/дм² концентрация соли железа

Таблица 1. Состав и свойства железных порошков

Железный порошок	Содержание элементов, %							Содержание фракций, %				
	Fe, не менее	Собщ	O ₂	Mn	Si	S	P	+200 мкм	+100 мкм	+75 мкм	+53 мкм	—53 мкм
Восстановленный конвертированным природным газом	95,8—98,5	0,03—0,15	0,5—1,0	0,28	0,25	0,007	0,015	0	43	28,2	12,4	16,4
Восстановленный твердым углеродом	93,4	0,12	—	0,26	0,40	0,060	0,020	0,3	48,9	35,5	12,5	2,8
Электролитический	98,5	0,02	—	0,01	0,02	0,023	0,003	1,8	49,6	18,9	12,9	16,8
Карбонильный	97,15—98,8	0,6—1,2	0,8—1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Измельченный	96,8	0,03	—	0,30	0,03	0,03	0,005	40,5	37,8	13,7	4,4	3,6
Распыленный	99,4	0,02	0,02—0,38	—	—	—	—	—	—	2,95	~2	9,6

Примечание: T_H — текучесть; s — удельная поверхность; γ_H — пикнометрическая

может быть 1—2 г-эка/л. В горячих электролитах при плотности тока 30 а/дм² и выше содержание соли железа повышают до 3—6 г-эка/л в зависимости от ее растворимости. Наибольшей растворимостью обладает хлористое железо, концентрация к-рого в горячем растворе может быть увеличена до 6—7 г-эка/л. Для повышения электропроводности или улучшения структуры слоя к электролиту иногда добавляют хлористые соли натрия, магния, марганца и кальция. Слои железа из холодных и горячих электролитов получаются плотными, мелкозернистыми. Твердость их повышается с увеличением плотности тока и уменьшается с повышением т-ры. Ж. применяют в полиграфии, в автомобильной, тракторной и др. отраслях промышленности.

Лит.: Лайнер В. И., Кудрявцев Н. Т. Основы гальваностегии, ч. 2. М., 1957; Петров Ю. Н. Гальванические покрытия при восстановлении деталей. М., 1965; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974.

Н. Т. Кудрявцев.

ЖЕЛЕЗНЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы железа различной формы. Размер частиц — менее 0,50 мм. Используется с 20-х гг. 20 в. Основным сырьем для получения порошка служат руда, окалина, стружка,

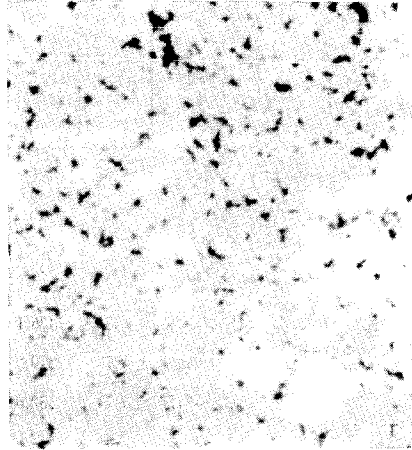
скрап, литой металл и отходы металлургического произ-ва. Ж. п. получают восстановлением окислов железа твердым (коксиком, каменноугольной пылью), газообразным (водородом, окисью углерода или их смесью, природным конвертированным газом) или комбинированным (твердым и газообразным) восстановителем (см. также *Железо губчатое*), электролизом водных растворов, карбонильным методом (см. *Железо карбонильное*), механическим измельчением в дробилках, валах или мельницах (напр., шаровых, вибрационных, вихревых), распылением или грануляцией расплавленного железа и его сплавов, методом *межкристаллитной коррозии* и др. Метод изготовления определяет хим. состав, размер и форму частиц порошка (рис. с. 436), его св-ва (табл. 1, 2 с. 437), а также св-ва изготовленных материалов (табл. 3, 4). Восстановленный порошок характеризуется неправильной формой частиц с губчатым строением. Электролитический порошок отличается дендритной формой частиц (см. *Дендриты*), карбонильный — сферической, вихревой — тарельчатой, а порошок, полученный методами распыления и межкристаллитной коррозии, — соответственно шаровидной или каплевидной и осколочной формами. Ж. п. подразделяют на грубый (размер частиц 150—500 мкм), средний (40—150 мкм), тонкий (10—40 мкм), весьма тонкий (0,5—10 мкм) и сверхтонкий (менее 0,5 мкм). Насыпная масса, а также текучесть, прессуемость и др. технологические св-ва зависят от формы частиц и гранулометрического состава порошка. Область применения Ж. п. определяется химическим и ситовым составом, формой частиц и прессуемостью. Из восстановленного, распыленного и вихревого порошка изготовляют сварочные электроды, мягкие пробы, пористые фильтры, конструкционные детали и подшипники, эксплуатируемые в режиме самосмазывания. Подшипники, изготовленные из таких порошков, можно эксплуатировать при нагрузке до 50 кгс/см² и скорости

ρ , г/см ³	T_p , г/сек	s , м ² /г	γ_p , г/см ³	H , кгс/мм ²
1,9—2,5	0,32	0,332	7,65	133,0
2,0—2,5	0,34	0,285	7,5	142,5
2,2	0,37	0,434—0,148	7,76	135,1
—	—	0,346	7,73	140,0
2,5	0,41	0,24—0,13	7,75	132,0
2,8—3,1	0,26	—	—	—

плотность.

скольжения до 1—2 м/сек со смазкой в два-три раза дольше, чем подшипники из *бронз* и *бabbitов*. Стоимость таких подшипников в четыре-пять раз меньше стоимости бронзовых и баббитовых подшипников. Эти порошки используют также для очистки зерна, зачеканки стыков труб (вместо свинца) и в качестве *катализатора*. Получаемые из электролитического и карбонильного порошков железа *магнитно-мягкие мате-*

риалы характеризуются низкой *коэрцитивной силой* и малым остаточным магнетизмом. Из таких порошков изготавливают тончайшие пленки и слои для радиоэлектронной аппаратуры и устройств полупроводниковой техники. Ж. п. входит в состав многих материалов сложного состава, к-рые изготавливают методами порошковой металлургии. Эти материалы находят применение в различных отраслях пром-сти, обеспечивая более высокие эксплуатационные характеристики изделий. Ж. п. марок ПЖ1М, ПЖ2М, ПЖ3М, ПЖ4М



Частицы железного порошка, полученного восстановлением окислов железа конвертированным природным газом (а), распылением (б), электролизом (в) и карбонильным методом (г), $\times 250$.

Лит.: Самсонов Г. В., Плоткин С. Я. Производство железного порошка. М., 1957; Федорченко И. М., Андриевский Р. А. Основы порошковой металлургии. К., 1963; Кипарисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия. М., 1972; Джонс В. Д. Основы порошковой металлургии. ч. 1. Пер. с англ. М., 1964. Л. И. Пугина.

ЖЕЛЕЗО (Ferrum), Fe — хим. элемент VIII группы *периодической системы элементов*; ат. н. 26, ат. м. 55,847. Блестящий серебристо-белый металл. В соединениях проявляет степени окисления +2 и +3, реже +6. Природное Ж. состоит из стабильных изотопов ^{54}Fe (5,84%), ^{56}Fe (91,68%), ^{57}Fe (2,17%) и ^{58}Fe (0,31%). Получены радиоактивные изотопы ^{52}Fe , ^{53}Fe , ^{55}Fe , ^{59}Fe и ^{60}Fe с периодами полураспада соответственно 8,3 ч, 8,9 мин, 2,9 года, 45

дней и 8,4 ч. Ж. известно с древнейших времен, однако длительное время использовался лишь металл метеоритного происхождения. Изготовление изделий из Ж. (гл. обр. украшений) началось в первой половине 3-го тысячелетия до н. э. Во 2-м тысячелетии до н. э. был создан способ произ-ва достаточно твердого металла. В Европе и в Древней Руси до середины 14 в. Ж. получали в сыродутных горнах прямым восстановлением руды древесным углем (сыродутный процесс), получая губку (крицу), из к-рой затем выковывали различные изделия. В дальнейшем, по мере усовершенствования способов дутья и увеличения высоты плавильных печей, Ж. углероживалось (см. *Науглерожи-*

Т а б л и ц а 2. Пористость брикетов из железных порошков

Железный порошок	Пористость, %	
	после прессования под давлением 4 тс/см ²	после прессования под давлением 6 тс/см ²
Восстановленный конвертированным природным газом	28,7—29,1	18,3—19,4
Восстановленный твердым углеродом	28,0—28,0	16,5—17,5
Электролитический	21,3—22	14,3—15
Измельченный (вихревой)	17,1—17,9	10,4—11,3

Т а б л и ц а 3. Свойства спеченного железа с 25% пор

Железный порошок	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{\text{п.}}$, кгс/мм ²	$\sigma_{\text{сж.}}$, кгс/мм ²	НВ
Тонкий (10—40 мкм)	8—11	15—25	50—70	40—60
Средний (40—150 мкм)	4—10	8—16	40—60	30—45
Грубый (более 150 мкм)	До 4	До 8	30—45	До 35

Т а б л и ц а 4. Свойства спеченного железа с 25—30% пор

Железный порошок	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{\text{сж.}}$, кгс/мм ²	НВ
Измельченный (вихревой)	8,6—8,2	95—77	38—29,5
Восстановленный конвертированным природным газом	11,4—9,1	128—104	42,4—37,4
Электролитический	8,5—6,1	107—91	39,8—34,8

вание), превращаясь в чугуны, к-рый вначале считали отходом произ-ва. Постепенно чугун научились переплавлять в сталь. Такой двухступенчатый передел оказался более экономичным и производительным и с 15—16 вв. почти полностью заменил одноступенчатую схему произ-ва Ж. и стали. В середине 19 в. были разработаны бессемеровский, томасовский и мартеновский способы передела чугуна в сталь, пополнившие впоследствии электросталеплавлением, кислородно-конверторным и др. способами. По содержанию в земной коре (4,65%) Ж. занимает четвертое место после кислорода, кремния и алюминия. В земных глубинах содержание его возрастает. В земной коре Ж. сформировалось в различные минералы, к-рых насчитывается около 300: окислы, сульфиды, силикаты, карбонаты, фосфаты и т. д. Важнейшие рудные минералы: магнетит Fe_3O_4 , гематит Fe_2O_3 , лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, сидерит FeCO_3 , а также соединения с серой и мышьяком. В виде гидроокисей Ж. накапливается во мн. морских и континентальных осадках, образуя осадочные руды. Неокисленное (самородное)

Ж.— в виде теллурического земного или метеоритного — встречается в природе редко. Ж.— пластичный металл, легко поддается ковке, прокатке, штампованию и волочению. Его кристаллические модификации: альфа-, гамма- и дельта-железо (табл. 1). До т-ры 769°C стойко альфа-железо, выше т-ры 769°C (Кюри точка) оно сохраняет кристаллическую структуру, однако теряет ферромагнетизм, переходя в дельта-железо; при т-ре 911°C переходит в гамма-железо, а при т-ре 1400°C гамма-железо превращается в дельта-железо. Немagnetную модификацию железа, стойкую в интервале т-р $769—911^\circ \text{C}$, нередко наз. бета-железом. Однако его структура тождественна высокотемпературной модификации дельта-железа и не может рассматриваться как самостоятельная. Внешняя электронная оболочка атома Ж. имеет $3d^6 4s^2$ электронов. Наличие незаполненного $3d$ слоя и его относительные размеры определяют многие физ. и хим. св-ва элемента. Так, взаимодействие нескомпенсированных спинов четырех из шести электронов соседних атомов на небольших расстояниях, свойственных альфа-железу, создает области спонтанной намагниченности (домены), определяю-

Таблица 1. Свойства кристаллических модификаций железа

Модификация железа	Кристаллическая решетка	Период решетки, Å	Координационное число	ρ (рентгеновская для твердых фаз), г/см ³	Атомный диаметр, Å	Магнитные свойства	Теплота фазового перехода, ккал/г-атом
Альфа-железо	Объемноцентрированная кубическая	2,86645	8	7,909	2,478	Ферромагнитно	—
Дельта (бета)-железо	То же	2,895	8	7,642	2,508	Парамагнитно	—
Гамма-железо	Гранецентрированная кубическая	3,637	12	7,709	2,572	То же	$0,25 \pm 0,02$ (при т-ре 910°C)
Дельта-железо	Объемноцентрированная кубическая	2,925	8	7,409	2,534	— » —	$0,32 \pm 0,03$ (при т-ре 1392°C)
Жидкое железо	—	—	8→12 (при перегреве)	7,01	—	— » —	$3,68 \pm 0,02$ (при т-ре 1536°C)

Примечание: Свойства альфа-, дельта (бета)-, гамма- и дельта-железа даны при т-ре соответственно 20; 900; 910 и 1400°C .

изменяется ферромагнетизм. С увеличением межатомных расстояний обменное взаимодействие ослабляется, что приводит к разупорядочению областей и исчезновению ферромагнетизма при t -ре 769°C . Концентрация четырех электронов в металле и их взаимодействие с катионами приводят к перекрыванию d^6 орбиталей и появлению направленных связей, свойственных объемноцентрированной кубической структуре альфа- и дельта-железа. Если перекрывания в гамма-железе нет, координационное число увеличивается до 12. Физ. св-ва чистого Ж.: $t_{\text{пл}}$ 1536°C ; $t_{\text{кип}}$ 2880°C ; коэфф. теплопроводности (t -ра 25°C) $0,177 \text{ кал/см} \times \text{сек} \cdot \text{град}$; ср. удельная теплоемкость (t -ра $0-1000^\circ \text{C}$) $0,153 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$; температурный коэфф. линейного расширения (t -ра 20°C) $11,7 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; удельное электрическое сопротивление (t -ра 20°C) $9,7 \cdot 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}$; температур. коэфф. электр. сопротивления ($0-100^\circ \text{C}$) $6,51 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$. Многие св-ва зависят от чистоты металла (табл. 2 с. 440). В хим. отношении Ж. — металл ср. активности: если нет влаги, его компактные образцы не реагируют заметно даже с такими окислителями, как кислород, сера, хлор и бром. Только высокодисперсное (пирофорное) Ж. может самовоспламениться. При нагревании интенсивность взаимодействия быстро возрастает. Из кислородных соединений известны: FeO (точнее вюстит Fe_xO — нестехиометрическое соединение перем. состава, стойкое выше t -ры 572°C), Fe_3O_4 и Fe_2O_3 . При t -ре $200-300^\circ \text{C}$ на воздухе Ж. покрывается плотной окисной пленкой, защищающей его от коррозии (см. *Коррозия металлов*). Чистое Ж. при обычных t -рах стойко на воздухе и в воде. Техническое Ж. и *железа сплавы* под воздействием паров воды, углекислого газа и кислорода корродируют, покрываясь хрупким пористым слоем гидроокиси $\text{FeO} \times n\text{H}_2\text{O}$ — ржавчиной, не защищающей металл от коррозии. От нее ежегодно теряется около 30% добываемого Ж. и стали, $\frac{2}{3}$ из к-рых в виде металлолома идут в переплав, а $\frac{1}{3}$ теряется безвозвратно. Раство-

римость углерода в альфа-железе при комнатной t -ре — около $2 \cdot 10^{-5} \%$, а при t -ре 738°C составляет 0,02%. В гамма-железе при t -ре 1153°C растворяется до 2,11% С. Твердый раствор углерода в альфа-железе (*феррит*) и в гамма-железе (*аустенит*) являются растворами внедрения. В зависимости от содержания углерода сплавы Ж. подразделяют на *стали* и *чугуны*. При быстром охлаждении аустенита образуется пересыщенный твердый раствор углерода в альфа-железе (*мартенсит*), обладающий высокой *твердостью* и *хрупкостью*. Последующий отпуск (нагрев до t -ры $500-550^\circ \text{C}$ и выдержка) позволяет получить регулируемое сочетание мех. прочн. и пластичности. При сравнительно быстром охлаждении из железоуглеродистых расплавов выделяются карбиды: Fe_3C (цементит), реже Fe_2C (эпсилон-карбид), а при медленном — *графит*. Наиболее стойки *нитриды* Fe_4N и Fe_2N . Соединения Ж. с водородом (*гидриды*) малостойки. Соединения с серой имеют перем. состав: в Fe_xS содержится от 50 до 53,3 ат. % S. При нагревании с кремнием, фосфором, алюминием и титаном Ж. образует соответственно *силициды*, *фосфиды*, *алюминиды* и *титаниды*. Ж. хорошо растворяется в разбавленных к-тах и практически не растворяется в щелочах. Водные растворы его солей имеют кислую реакцию. Ж. склонно к образованию комплексных соединений. Чистое Ж. получают восстановлением из окислов (железо пирофорное), электролизом водных растворов его солей (железо электролитическое), разложением пентакарбонила $\text{Fe}(\text{CO})_5$ при нагревании до t -ры 250°C (см. *Железо карбонильное*). Для произ-ва особо чистого железа (99,99% Fe) прибегают к зонной плавке и др. спец. способам. Технически чистое Ж. (армик-железо), содержащее около 0,16% примесей (углерода, кремния, марганца, фосфора, серы и др.), выплавляют, окисляя компоненты чугуна, в мартеновских, двухванных сталеплавильных печах и в кислородных

конверторах. Сварочное, или кричное, Ж. получают, окисляя примеси малоуглеродистой стали железистым шлаком при т-ре 1350°C или восстановлением из руд твердым углеродом. Восстановлением при т-ре до 1200°C получают *железо губчатое*. Осн. массу Ж. выплавляют в виде сталей и чугунов (см. Же-

нил, минеральные красок и пр., FeSO_4 — коагулянт для очистки воды. Покрытие железом (см. Железнение) нашло применение в полиграфии — для изготовления клише, в автомобильной и тракторной промышленности — для восстановления изношенных деталей машин и др. На долю сплавов Ж. приходится примерно 95% всей металлической продукции. Лит.: Григорович В. К. Электрическое строение и термодинамика сплавов железа. М., 1970; Князев В. Ф.,

Таблица 2. Свойства железа различной чистоты

Железо	Растворимость водорода, см^3 в 100 г	Растворимость кислорода, %	Растворимость азота, %	$B_T \cdot 10^{-3}, \text{ эс}$	$H_C, \text{ э}$	$\mu \cdot 10^{-3}$	$\sigma_T, \text{ кгс/мм}^2$
Особой чистоты	3	$6 \cdot 10^{-4}$ (т-ра $700-850^{\circ}\text{C}$)	—	8—11	0,025	61—150	5,5—7,5
Электролитическое переплавленное	—	$(2-5)10^{-3}$ (т-ра 700°C) $(8-15) 10^{-3}$ (т-ра 850°C)	0,002 (т-ра 800°C)	8—11	0,1—0,5	10—20	10—14
Спеченное карбонильное	—	—	—	8—11	0,1—0,5	10—20	10—17
Технически чистое	30	0,19 (т-ра 1540°C)	0,04 (т-ра 1540°C)	8—11	1	5—19	10—25

лезоуглеродистые сплавы). Технически чистое Ж. применяют для изготовления сердечников электромагнитов, якорей электр. машин и др. Чистое Ж. используют как катализатор, для исследовательских целей и для изготовления медицинских препаратов. Порошки Ж., полученные восстановлением окислов, карбонильным и другими способами, перерабатывают методами порошковой металлургии в различные изделия, листы, полосы, ленты и др. Железный порошок в больших количествах используют при сварке, а также для цементации меди. Губчатое и кричное Ж. применяют для произ-ва высококачественных сталей. Ж. — составная часть железобетона и железогрфита. Окислы Ж. служат минеральными красками, а ферромагнитные Fe_3O_4 и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ используют для произ-ва магнитных материалов. Из солей широко применяют сульфаты, напр. $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — в текстильной промышленности, в произ-ве берлинской лазури, чер-

Гиммельфарб А. И., Немецков А. М. Вскоковская металлургия железа. М., 1972; Некрасов В. В. Основы общей химии, т. 2. М., 1973; Гольдшмидт Х. Дж. Сплавы внедрения, в. 1—2. Пер. с англ. М., 1971; Металлография железа, т. 1. Пер. с англ. М., 1972. С. И. Попель.

ЖЕЛЕЗО ГУБЧАТОЕ — пористый агломерат частиц железа. Ж. г. (крица) — исходный продукт для изготовления железных изделий (2—3 тыс. до н. э.), промышленное произ-во к-рого началось (1910) в Швеции. Содержит 97—99% Fe, 0,01—0,3% С и примеси, вид и количество к-рых определяется методом получения и составом руды. Легко растирается в порошок в щековых дробилках, молотковых или шаровых мельницах. В горячем состоянии поддается обработке давлением. Ж. г. получают восстановлением его окислов твердым (коксиком, каменноугольной пылью), газообразным (водородом, окисью углерода или их смесью) или комбинированным (твердым и газообразным) восстановителем при т-ре $750-1200^{\circ}\text{C}$, т. е. прв

т-ре ниже точки плавления железа, в специальных печах. Из Ж. г. изготавливают *железный порошок*, применяемый для обмазки сварочных электродов и произ-ва изделий методом порошковой металлургии. Ж. г. используют также для выплавки высококачественных сталей.

Лит.: Самсонов Г. В., Плоткин С. Я. Производство железного порошка. М., 1957; Ничипоренко О. С. Восстановление порошков железных руд в кипящем слое. К., 1966; Джонс В. Д.

$\sigma_B, \text{ кгс/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$E \cdot 10^{-3}, \text{ кгс/мм}^2$	HV
9—14	50—22	93	—	53
18—25	50—40	80—70	21	50—70
20—28	40—30	80—70	20,7	55—80
18—32	40—30	80—65	20—21	60—90

Основы порошковой металлургии, ч. 1. Пер. с англ. М., 1964. Л. И. Пугина.

ЖЕЛЕЗО КАРБОНИЛЬНОЕ — порошок *железа*, получаемый термической диссоциацией его пентакарбонила. Используется с конца 19 в. Основным сырьем для получения пентакарбонила служат *железо губчатое*, стружка, скрап и др. отходы, к-рые обрабатываются окисью углерода под давлением 200 ат при т-ре около 200° С. Получаемый после такой обработки пентакарбонил железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$ поступает (в виде паров) вначале в сепаратор-конденсатор, а затем в испаритель и аппарат разложения, нагретый до т-ры 300° С, где в среде газообразного аммиака разлагается на карбонильное железо и окись углерода. Ж. к. характеризуется сложной кольцевой структурой частиц сферической формы размером 1—15 мкм, не содержит серы, фосфора, марганца, кремния, мышьяка, меди и др. примесей. Углерод и кислород (1—1,5% каждого) придают ему высокую твердость (850 HV), для снижения к-рой и их уда-

ления применяют восстановительный *отжиг* в среде водорода различной влажности при т-ре не выше 500—600° С. Ж. к. отличается высокой *стекаемостью*, вследствие чего из него методом порошковой металлургии получают изделия сложной формы. Ж. к. применяется в радиоэлектронике, машиностроении, медицине, химии, сельском хозяйстве и др. Из карбонильного железа изготавливают сердечники катушек, магниты, тончайшие пленки и слои, наносимые на магнитофонную ленту, фасонные детали, пористые фильтры, его используют также в качестве *катализаторов* и заполнителей быстродействующих электромагнитных порошковых муфт и тормозов. См. также *Железный порошок*.

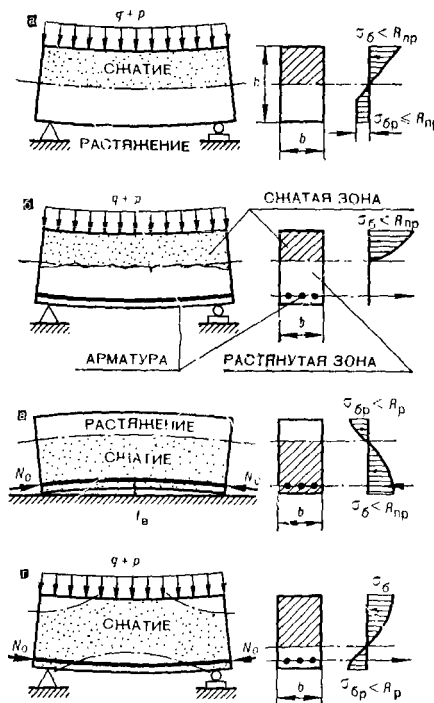
Лит.: Самсонов Г. В., Плоткин С. Я. Производство железного порошка. М., 1957; Кипарисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия. М., 1972; Джонс В. Д. Основы порошковой металлургии, ч. I. Пер. с англ. М., 1964. Л. И. Пугина.

ЖЕЛЕЗОБЕТОН — бетон, усиленный стальной арматурой. В пром. масштабах используется с конца 19 в. В Ж. бетон работает на сжатие, а металл — на растяжение. Бетон, как и всякий каменный материал, хорошо сопротивляется сжатию, но значительно хуже (в 10—20 раз) — растяжению. При работе железобетонных элементов на растяжение основную нагрузку воспринимает стальная арматура (см. *Арматурная сталь*), а бетон участвует в работе незначительно. Бетонные элементы, работающие на сжатие (стойки, колонны и др.), также армируют стальными стержнями, поскольку сталь хорошо работает на растяжение и сжатие. Введение стали дает возможность изготавливать сборные конструкции, легко их транспортировать и монтировать. Большую часть (около 90%) строительных конструкций выполняют из Ж., что объясняется его высокими мех. качествами, долговечностью (см. *Долговечность материалов*), высокой *огнестойкостью*, сейсмостойкостью, возможностью изготовления из местных материалов, экономией металла, незначительными эксплуа-

гационными расходами, способностью принимать любые формы, усиливая архитектурную выразительность зданий и сооружений, массивностью (для подпорных сооружений), способностью к защите от облучений, высокой гигиеничностью и др. Осн. недостатки Ж.: большая собственная масса, значительная тепло- и звукопроводность, возможность появления трещин при работе под нагрузкой (низкая трещиностойкость обычного Ж.). Для частичного или полного устранения этих недостатков прибегают к предварительному напряжению арматуры, использованию *легких бетонов* и сборного железобетона. Ж., в котором предварительно, на стадии изготовления, создают начальные внутренние напряжения (усилия), обратные напряжениям от внешних нагрузок (рис.), наз. *предварительно напряженным железобетоном*. Ж. различают по структуре, объемной массе, виду вяжущих, виду заполнителей, зерновому составу заполнителей и условиям твердения. В зависимости от вида арматуры Ж. подразделяют на обычный, предварительно напряженный, с жесткой арматурой, с комбинированным армированием, с объемным армированием и армоцемент. По способу производства Ж. бывает сборный, монолитный и сборно-монолитный. Бетоны, содержащие полимеры в виде добавки к минер. вяжущему, наз. *пластбетонами*, а полностью основывающиеся на полимерном вяжущем — *полимербетонами*. Введение полимеров делает бетоны более плотными, повышает водонепроницаемость (см. *Водонепроницаемость*), износостойкость, прочность на сжатие и особенно на растяжение. Подобные бетоны вместе со стальной арматурой наз. *сталеполимербетонами* или *железоплимербетонами*. К осн. св-вам Ж. относятся прочностные, обеспечиваемые как бетоном, так и арматурой, деформативные, физические и специальные. В основе деформативных св-в — совместность работы бетона и арматуры, т. е. равенство их деформаций. Упруго-пластические

свойства Ж. определяют бетон. Наличие сцепления бетона с арматурой влияет на надежность заделки арматуры, раскрытие трещин и т. д. Физические св-ва (тепло- и звукопроводность, усадка и др.) предопределяются бетоном. Совместная работа бетона и арматуры обуславливает спец. свойства: *морозостойкость, коррозионную стойкость, собственные напряжения от усадки, ползучести бетона и изменения т-ры*. Предварительно напряженная арматура изменяет жесткость, трещиностойкость и др. св-ва обычного Ж. Произ-во Ж. состоит из приготовления бетонной смеси, создания арматурных элементов и закладных деталей, подготовки форм, формирования изделий, ускорения твердения бетона, отделки изделий и доведения их до полной готовности. При изготовлении сборного Ж. приняты по-

Схемы распределения напряжений в железобетоне: а — бетонная балка; б — обычная железобетонная балка; в — предварительно напряженная балка при изготовлении; г — предварительно напряженная балка при нагружении.



очные методы организации технологического процесса: без перемещения и с перемещением изделий. К первому относится стеновой метод, ко второму — агрегатный (или агрегатно-поточный) и конвейерный. Производство Ж. в СССР достигло (1975) почти 200 млн. м³ в год (первое место в мире). Пром-сть сборного Ж. СССР выпускает изделий примерно в два раза больше, чем США, Англия, Франция и ФРГ, вместе

качества вяжущих, заполнителей и арматурных сталей как исходных материалов; совершенствования технологии заводского произ-ва сборного железобетона, организации и методов возведения конструкций из монолитного железобетона; повышения долговечности и качества железобетона.

Таблица 1. Химический состав и свойства железографита

Содержание, %		ρ , г/см ³	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	α_H , кгс·м/см ²	НВ
графита	железа					
0,5	99,5	6,5—7,4	30—47	2—8	2—5	100—200
1,0	99,0	5,5—6,6	18—28	3—6	—	60—130
2,0	98,0	5,8—6,2	8—15	—	0,12—0,6	55—120
3,0	97,0	5,6—6,0	7—14	—	0,2—0,6	55—100

взятые. Дальнейший прогресс в области совершенствования производства и повышения эффективности применения Ж. идет по пути снижения массы вследствие применения легких и ячеистых бетонов; применения высокопрочных тяжелых бетонов марок 600—800 для осн. несущих конструкций; увеличения объема предварительно напряженных железобетонных конструкций, рациональных видов тонкостенных и армоцементных конструкций; повышения

Лит.: И с е в и ч В. Е. Перші дослідження бетону і залізобетону на Україні. «Вісник Академії будівництва і архітектури УРСР», 1960, № 4; Железобетонные конструкции. Состояние и перспективы развития. М., 1962; Технология бетонных и железобетонных изделий. М., 1972; Б а й к о в В. Н. [и др.]. Железобетонные конструкции. М., 1976. В. А. Пахомов.

ЖЕЛЕЗОГРАФИТ — пористый спеченный материал на основе железа и графита; вид антифрикционного и конструкционного материала. Используется с 30-х гг. 20 в. Обозначается марками ЖГр1, ЖГр2 и т. д., где буква Ж — железо, Гр — графит, цифра — процентное содержание графита в шихте. Мех. и эксплуатационные св-ва Ж. зависят от количества графита и определяются структурой и пористостью (табл. 1, 2), к-рые формируются в процессе спекания и обуславливаются его режимами. Так, изменение т-ры спекания с 1000 до 1100° С повышает прочность на изгиб Ж., содержащего 3% графита, с 28,4 до 35,4 кгс/мм², а твердость — с 60,7 до 87,3 НВ. Ж., содержащий до 1% графита, характеризуется перлитной или феррито-перлитной структурой, содержащий свыше 1% графита — перлитной структурой (со свободным графитом). Допускаются в структуре феррит (до 30—40%) и включения цементита (рис.). С увеличением содержания графита мех. св-ва Ж. ухудшаются. Свободный графит способствует сни-

Микроструктура железографита, × 300.



жению коэфф. трения и повышению износостойкости, особенно при ограниченной подаче смазки. Св-ва Ж. улучшают легированием медью, никелем, молибденом, оловом, сурьмой и др. элементами, что позволяет расширять область его применения. Ж. получают методом порошковой

Т а б л и ц а 2. Пористость и предельная нагрузка железогрфита

θ, %	Предельная нагрузка, кгс/см ²					
	при скорости скольжения, м/сек					
	0,1	0,5	1	2	3	4
15—20	250	85	80	65	45	10
20—25	200	70	65	55	35	8
25—30	150	55	50	40	25	6

металлургии. Из смеси порошков железа и графита в стальной пресс-форме под давлением 5—8 тс/см² прессуют пористый брикет в форме готового изделия, который затем спекают при t-ре 1000—1100° С в течение 1,5—2 ч в защитной среде (водороде, эндотермическом газе, конвертированном природном газе, угольной засыпке). После спекания изделие пропитывают маслом, нагретым до t-ры 100—120° С, для защиты от коррозии и придания материалу св-в самосмазываемости. Из Ж. изготовляют втулки, вкладыши, опорные и упорные кольца, торцовые уплотнения и др. изделия. Для конструктивных изделий используют Ж. с содержанием графита до 1% и пористостью не более 15—20%. Для деталей узлов трения применяют Ж. с более высоким содержанием графита (до 3%) и пористостью 15—30%. Ж. используют как заменитель литых подшипниковых сплавов на основе цветных и черных металлов, обеспечивающий более высокую (в 1,5—3 раза) надежность и долговечность деталей, снижение расхода металла в стружку, экономию дефицитных сплавов, снижение трудоемкости изготовления изделий, устранение мех. обработки и др. При замене 1 т цвет-

ных сплавов экономия составляет 3—4 тыс. руб., при замене черных металлов — до 1 тыс. руб. Ж. производят в соответствии с отраслевыми техническими условиями и стандартами, определяющими его свойства и область применения.

Лит.: Б а л ь ш и н М. Ю. Порошковая металлургия. М., 1948; Ф е д о р ч е н к о И. М. [и др.]. Структура металлургических материалов на основе железа. М., 1968; К и п а р и с о в С. С., Л и б е я с о н Г. А. Порошковая металлургия. М., 1972; Современные проблемы порошковой металлургии. К., 1970; Д ж о н с В. С. Основы порошковой металлургии, ч. 3. Пер. с англ. М., 1965; Friction and Antifriction Materials, v. 4. New York — London, 1970.

Л. И. Пугина.

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ — сплавы железа с углеродом. Различают Ж. с чистые (со следами примесей), используемые для исследований целей и особо важных изделий, и Ж. с техническими — стали (до 2% С) и чугуны (более 2% С). Технические Ж. с. содержат, кроме железа и углерода, постоянные примеси (марганец, кремний, серу, фосфор, кислород, азот, водород), вносимые из исходных шихтовых материалов, и примеси (медь, мышьяк и др.), обусловленные особенностями произ-ва. Фазовые состояния Ж. с. при разных хим. составах и t-рах описываются диаграммами стабильного и метастабильного равновесия (см. *Диаграмма состояния железо — углерод*). Полиморфные превращения (см. *Полиморфизм*) таких сплавов связаны с перестройками гранецентрированной кубической решетки гамма-железа и объемноцентрированной решетки альфа- и дельта-железа. С т а л и подразделяют на доэвтектоидные (менее 0,8% С) с ферритоперлитной структурой (см. *Феррит, Перлит в металловедении*) в равновесном состоянии, эвтектоидные (около 0,8% С) с перлитной структурой и заэвтектоидные (свыше 0,8% С), структура к-рых состоит из перлита и вторичного цементита. Доэвтектоидные стали применяют гл. обр. для изготовления деталей машин, агрегатов и конструкций (см. *Конструкционная сталь*), эвтектоидные и заэвтектоидные стали — для изготовления режущего, штампового и измерительного инструмента (см. *Инструментальная сталь*). Приме-

на оказывающий заметное влияние на св-ва стали. Так, марганец и кремний (при некоторых содержаниях) упрочняют сталь и понижают ее пластичность. Сера и кислород способствуют *красноломкости*. Кроме того, сера снижает усталостную прочность и коррозионную стойкость. Фосфор охрупчивает сталь при низких т-рах. Сера и фосфор улучшают обрабатываемость стали резанием, вследствие чего их вводят в *автоматные стали*. Наличие в стали азота приводит к деформационному упрочнению холоднодеформированной стали в процессе последующей выдержки при т-рах от комнатной до 250—300° С и к *синеломкости* малоуглеродистой стали при т-ре 150—300° С. Водород способствует охрупчиванию стали и образованию *флокенов*. В зависимости от содержания серы и фосфора различают *углеродистые стали* обыкновенного качества (до 0,055% S и 0,045% P), качественные (не более 0,035% каждого элемента) и высококачественные (не более 0,025% каждого элемента). Из углеродистых сталей обыкновенного качества изготавливают малонагруженные изделия, а также арматуру для железобетонных конструкций (см. *Железобетон, Строительная сталь*); из качественных (см. *Качественная сталь*) и высококачественных углеродистых сталей — высоконагруженные детали машин и различные инструменты. Физико-химические и мех. св-ва сталей улучшают *легированием* хромом, никелем, молибденом, ванадием, титаном, марганцем, кремнием, вольфрамом, кобальтом, бором и др. элементами. *Легированные стали* превосходят углеродистые комплексом мех. св-в (конструкционная и инструментальная стали) и специфическими св-вами, к-рых у углеродистых сталей нет или они недостаточно высоки (см. *Быстрорежущая сталь, Износостойкая сталь, Жаропрочная сталь, Коррозионностойкая сталь, Магнитная сталь, Электротехническая сталь*). Св-ва большинства углеродистых и легированных сталей улучшают *термической обработкой, химико-термической обработкой и термомеханической обработкой*. В чугунах, в отличие от сталей, кристаллизующихся, как правило,

в соответствии с метастабильной диаграммой состояния железо — цементит, реализуются как метастабильные, так и стабильные фазовые равновесия, описываемые диаграммой состояния железо — графит. Углерод в чугуне находится в связанном состоянии — в виде цементита (см. *Белый чугун*) или в свободном состоянии — в виде графитных включений (см. *Серый чугун*). Графит в чугуне образуется непосредственно в процессе кристаллизации сплава или при разложении (диссоциации) цементита в процессе выдержки при высокой т-ре. Образование графита, особенно в твердом состоянии, происходит при значительных диффузионных перемещениях атомов углерода и железа, вследствие чего кристаллизация чугуна согласно стабильной диаграмме железо — графит возможна лишь в условиях медленного охлаждения. Уже при скорости охлаждения 1—10 град/мин в чугуне реализуются метастабильные фазовые равновесия в соответствии с диаграммой состояния железо — цементит. Постоянные примеси, содержание к-рых в чугунах выше, чем в сталях, оказывают существенное влияние на процессы первичной кристаллизации и *графитизации*. Так, кремний и углерод, являясь сильными графитизирующими добавками, способствуют образованию серых чугунов. Марганец и сера — карбидообразующие добавки — обуславливают кристаллизацию белых чугунов. Структура серых чугунов состоит из металлической основы (феррит и перлит или перлит) и графитных включений. Мех. св-ва серых чугунов зависят от формы, размеров и взаимного расположения таких включений. Наиболее неблагоприятной, особенно в условиях растягивающих напряжений, является пластинчатая (чешуйчатая) форма графита, создающая эффект надреза. У таких чугунов предел прочности не превышает 44 кгс/мм². Прочность чугунов повышают *модифицированием* магнием, церием или кальцием (см. *Модифицированный чугун*), в результате к-рого графит приобретает шаровидную форму (см. *Высо-*

копрочный чугун с шаровидным графитом). У таких чугунов прочность достигает 120 кгс/мм^2 . Отжигом белого чугуна получают ковкий чугун, содержащий графитные включения хлопьевидной формы. По прочности ковкий чугун занимает промежуточное положение между обычными серыми и высокопрочными чугунами, но превосходит их по пластичности. Структура половинчатых чугунов, кристаллизующихся при промежуточных скоростях охлаждения, состоит из ледебуритной эвтектики и графитных включений. Крупные отливки (валки прокатных станков) часто имеют структуру отбеленного чугуна: поверхностные слои — со структурой белого чугуна, внутренние — со структурой серого. Ж. с. являются основным видом металлической продукции. На их долю приходится прибл. 95% всего мирового произ-ва металла. В СССР произведено (1975) 103 млн. т чугуна и 141 млн. т стали. См. также *Железа сплавы*.

Лит.: Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. 1—2. М., 1961—62; Материалы в машиностроении. Справочник, т. 2, 4. М., 1967—69; Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., 1975; Гудремон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966; Металлография железа, т. 1—3. Пер. с англ. М., 1972. В. С. Черненко.

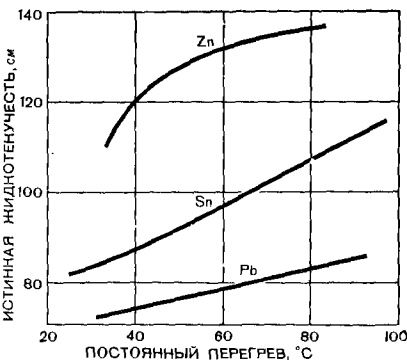
ЖИДКОЕ СТЕКЛО — водный раствор моно- и полисиликатов натрия, калия или других щелочных металлов и их смесей. Силикатный модуль Ж. с., определяемый отношением числа грамм-молей *двуокиси кремния* к числу грамм-молей щелочных оксидов, составляет $1 \div 6,5$. Ж. с. получают из *растворимого стекла* (в виде силикат-глыбы или силикат-гранулята) мокрым и сухим способами. Мокрый способ заключается в растворении кремнеземсодержащего сырья (*трепела*, кварцевого песка и др.) в едких щелочах. Процесс ведут в автоклаве емкостью $0,8\text{—}10 \text{ м}^3$ при давлении $20\text{—}25 \text{ ат}$ и t -ре $100\text{—}200^\circ \text{С}$. Продолжительность одного цикла $2\text{—}4 \text{ ч}$. Сухой способ отличается многоступенчатостью, последняя операция заключается в растворении силикат-глыбы в автоклаве или силикат-гра-

нулята в разварочном аппарате. В автоклаве силикат-глыбу (массой около 1 т) заливают горячей водой или слабым раствором жидкого стекла, после чего нагревают паром при давлении $3\text{—}8 \text{ ат}$. Продолжительность растворения содовой силикат-глыбы (с модулем $2,5\text{—}2,6$) — до 4 ч , сульфатной (с модулем $2,5\text{—}2,6$) — до 5 ч , а силикат-глыбы с модулем $2,8\text{—}3$ — не менее 8 ч . В разварочном аппарате, помимо силикат-гранулята, обрабатывают калиевое или натриевое гидратированное растворимое стекло. Для очистки от нерастворившихся примесей раствор Ж. с. отстаивают и сливают с осадка, а иногда пропускают через фильтр-пресс (чтобы облегчить фильтрацию, стекло готовят с плотностью около $1,26 \text{ г/см}^3$). После фильтрации раствор упаривают до плотности $1,40\text{—}1,50 \text{ г/см}^3$. Реакция Ж. с. — щелочная (pH более 8), вязкость — аномально высокая, что объясняется частичной полимеризацией его в растворе. Силикатный модуль натриевого Ж. с. — $1,5\text{—}3,5$, калиевого — до $4,0\text{—}4,5$. Т-ра замерзания Ж. с., зависящая от силикатного модуля и концентрации, — от -2 до -11°С . Поскольку Ж. с. не истинный, а коллоидный раствор, при длительном стоянии он стареет и разлагается с выделением аморфного кремнезема (тем быстрее, чем выше его силикатный модуль). Под действием минеральных к-т происходит его разложение с образованием раствора солей натрия или калия соответствующих к-т и выделением коллоидного гидрата окиси кремния (*силикагеля*) в виде студнеобразной массы или аморфного осадка. Разложение способствует наличие в воздухе углекислого газа (карбонизация). Ж. с. реагирует с растворимыми солями, особенно кислотными, с основаниями, с минер. и органическими веществами, образуя нерастворимые силикаты или разлагаясь на соли щелочных металлов с выделением кремнегелей. Клеющая способность Ж. с. в три—пять раз выше, чем у силикатных цементов и др. *вязущих материалов*. Ж. с. используют для склеивания картона, бумаги, деревянных и силикатных изделий, стекла с металлом, для изготовления литейных форм, для нане-

ения покрытий на электроды и т. д. Силкатные краски на основе Ж. с. служат для покрытия стен зданий, для спец. обработки древесины, для стеной живописи (стереохромия), в малярном деле. Силикатирование грунтов применяют для защиты от грунтовых вод при проходке шахт и туннелей, для укрепления грунта под фундаментами. Ж. с. используют при получении быстротвердеющих кислотостойких цементов, огнеупорных замазок и бетонов, при обогащении руд и минералов, при электроэрозионной обработке металлов и сплавов, при приготовлении мыла и стиральных порошков, для получения силикателей, синтетических цеолитов, катализаторов и минер. сорбентов, в металлургии, в произ-ве газозолотона и т. д. Лит.: Григорьев П. Н., Матвеев М. А. Растворимое стекло. М., 1956; Глуховский В. Д. Грунто-силикаты. К., 1959; Жидкое стекло. Материалы координационного совещания по производству и применению жидкого стекла в строительстве. К., 1963.

ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ — свойство расплавленных материалов заполнять литейную форму. Присуща в основном металлам (сплавам). Для определения Ж. металлов прибегают к технологическим пробам различных отливок, используя преим. спиральные и U-образные формы и кварцевые трубки, заполняемые жидким металлом при постоянном ферростатическом давлении или разрежении. Мерой Ж. служит длина от-

Зависимость истинной жидкотекучести цинка, олова и свинца от постоянного перегрева



ливки или степень заполнения металлом эталонной формы. Лучшей Ж. отличаются эвтектические сплавы (см. *Эвтектика*); чугун обладает большей Ж., чем сталь. Ж. обуславливается как физико-хим. характеристиками жидкого металла (напр., хим. составом, строением, вязкостью, поверхностным натяжением, особенностями кристаллизации металла, его теплоемкостью, теплопроводностью), так и условиями заливки и св-вами формы (смачиваемостью ее поверхности металлом, газотворностью, газопроницаемостью и теплопроводностью материала формы, напором металла, условиями его подвода, конфигурацией формы и др.). Если условия заливки и св-ва формы влияют преим. на ее заполняемость, то изменение Ж. под влиянием физико-хим. характеристик металла оказывает влияние не только на заполняемость формы, но и на качество и мех. св-ва отливок. Вследствие этого повышение Ж. в результате изменения физико-хим. характеристик рассматривают как показатель улучшения качества металла. Различают Ж. практическую, определяемую при постоянной т-ре заливки, и истинную, к-рую определяют при постоянном перегреве — постоянной разнице между т-рой заливки и т-рой нулевой Ж., или т-рой ликвидуса. С повышением перегрева истинная Ж. существенно возрастает (рис.). Однако ее значение еще больше зависит от теплоемкости, теплоты кристаллизации и теплопроводности металлов, т. е. от параметров, определяющих количество тепла и кинетику передачи тепла форме. С повышением теплоемкости и теплоты кристаллизации и с уменьшением теплопроводности металла Ж. увеличивается; напр., соотношение истинной Ж. цинка, олова и свинца соответствует значениям удельной теплоты их кристаллизации — 25,6; 13,45 и 5,6. Увеличивают Ж. добавкой легирующих элементов, напр. фосфора — к меди, кремния — к алюминию. Во мн. сплавах Ж. существенно зависит от интервала кристаллизации и направления роста кристаллитов.

С увеличением интервала кристаллизации и равноосного характера развития *дендритов* Ж. уменьшается. Уменьшают ее также тугоплавкие включения и *плёны*, образующиеся на поверхности заполняющего форму металла; поэтому одним из наиболее распространенных и эффектив-

ных способов повышения Ж. является такое раскисление (см. *Раскислители*) или модифицирование металлов, к-рое обеспечивает уменьшение содержания в них тугоплавких включений и плён.

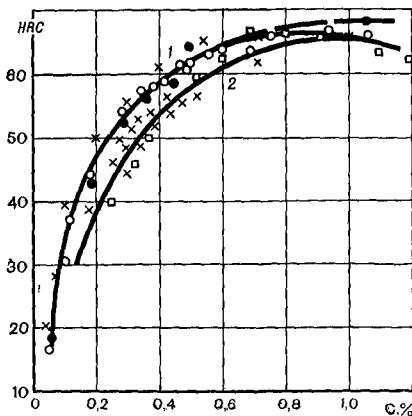
Лит.: Нехендзи Ю. А. Стальное литье. М., 1948; Корольков А. М., Кадагер Э. С. Жидкотекучесть металлов и сплавов. М., 1952; Корольков А. М. Литейные свойства металлов и сплавов. М., 1967. Ю. З. Бабаскин.

3

ЗАКАЛИВАЕМОСТЬ — свойство стали приобретать в результате *закалки* макс. твердость. Зависит в осн. от содержания атомов углерода в решетке альфа-железа (рис.), определяется высоким пределом *упругости* кристаллов *мартенсита*, особой микро- и субмикроструктурой (обусловленной *мартенситным превращением* и заметной долей ковалентной связи, вносимой *углеродом*). В реальных условиях макс. твердости углеродистой стали невозможно достичь не только у крупных, но и у тонких образцов, что связано с недостаточной *прокаливаемостью* стали. Изделия из стали с низкой прокаливаемостью сечением свыше 10 мм не прокаливаются на всю глубину даже при закалке в воде с раствором щелочи либо соли. Влияние на Ж. легирующих добавок возрастает с уменьшением содержания углерода и проявляется в осн. косвенно. Большинство их уменьшает критическую скорость охлаждения, поэтому в *легированной стали* легче получить возможную для нее макс. твердость при закалке в более мягких средах (иногда даже на воздухе). Ж. легированной стали зависит от полноты растворения в *аустените* карбидов, нитридов и нек-рых др. стойких соединений. Поэтому выбирают такие условия *аустенизации*, когда в гамма-раствор переходит макс. количество углерода и

легирующих добавок, но еще не происходят перегрев, передержка и нек-рые др. явления, вызывающие рост зерен, *хрупкость*, появление *трещин*. Поскольку легирующие добавки в осн. только способствуют реализации возможной для легированной стали Ж., а углерод значительно повышает Ж., макс. твердость может быть достигнута нек-рым увеличением содержания углерода, а не существенным повышением легиро-

Зависимость закаливаемости (максимальной твердости) тонких лабораторных образцов (1) и массивных образцов (2) от содержания углерода: ○ — закалка в воде; ● — закалка в воде с последующим охлаждением до $t_{\text{тр}}$ — 180°C ; ×, □ — другие виды закалки.



ванности. При этом учитываются требуемые значения *пластичности* и *ударной вязкости*. Прямое влияние легирующих добавок на макс. твердость невелико и является следствием упрочнения ими альфа-железа при закалке. Роль упрочненного закалкой *феррита* становится более ощутимой после закалки и высокого отпуска. У улучшаемых конструкционных сталей закалка представляет собой стадию промежуточной обработки, необходимой для получения после отпуска определенной структуры. Поэтому *З.* таких сталей должна обеспечивать только получение св-в, требуемых после высокого отпуска. Вследствие этого сталь может содержать меньшее количество углерода, что весьма важно для получения высокой пластичности и *вязкости разрушения*, хорошего сопротивления различным видам хрупкого разрушения.

Лит.: Штейнберг М. М. Упрочнение и разупрочнение бинарных сплавов железа. «Сталь», 1947, № 12; Гуляев А. П., Емелина В. П. Термическая обработка легированного феррита. «Сталь», 1948, № 12; Мороз Л. С. Тонкая структура и прочность стали. М., 1957; Курдюмов Г. В. Явления закалки и отпуска стали. М., 1960.

Б. Б. Винокур.

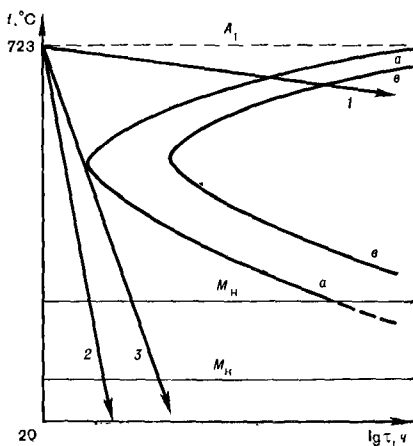
ЗАКАЛКА — 1) *Закалка металлов* — термообработка, заключающаяся в *нагреве металлов* до *т-р* не ниже их *критических точек*, последующей выдержке (если необходимо) при этих *т-рах* и быстром охлаждении. Приводит к получению неустойчивых (метастабильных) состояний. *З.* стали применяют с древнейших времен, *З.* сплавов цветных металлов — с начала 20 в. Фиксируемые закалкой структуры метастабильны, т. е. лишь относительно устойчивы: при комнатной *т-ре* они практически устойчивы, однако даже при незначительном нагреве испытывают превращения, переходя в более устойчивые состояния. Сущность *З.* заключается в том, что при нагреве до критических точек происходят фазовые изменения, а при быстром охлаждении не успевают развиться обратные процессы, приводящие к нормальному равновесному состоянию, вследствие чего металлы при комнатной *т-ре* находятся в неравновесном состоянии. Наибольшее значение в пром. приме-

не имеет *З.* железных сплавов (сталей), а также алюминиевых, титановых и некоторых других. Чаще всего *З.* используют для повышения *твердости* металлов. Твердость цветных металлов повышают, прибегая к следующему за *З.* процессу — старению металлов. Чтобы судить о возможности сплавов той или иной системы подвергаться *З.* и определить нужную для этого *т-ру* нагрева, используют *диаграммы состояния* соответствующей системы. Так, из диаграммы состояния алюминий — медь следует, что сплав с 4% *Сu* в равновесном состоянии при комнатной *т-ре* представляет собой смесь кристаллов двух фаз: *альфа-фазы* (почти чистый алюминий) и хим. соединения CuAl_2 . Если этот сплав нагреть выше некоторой *т-ры*, определяемой т. и. кривой растворимости, то фаза CuAl_2 полностью растворится в *альфа-фазе*. При быстром охлаждении до комнатной *т-ры* образовавшийся *твердый раствор* останется однородным, но метастабильным, пересыщенным и потенциально склонным к превращению. Такая *З.* наз. *истинной*. Если скорость охлаждения недостаточна для фиксации этого состояния и при охлаждении происходит обратное частичное или полное превращение, то продукты его отличаются большей дисперсностью, чем в исходном состоянии, такая *З.* не является истинной. В обоих случаях значительно изменяется структура и св-ва сплавов. *Диаграмма состояния железо — углерод* показывает, что для фазового изменения сплав нужно нагреть выше линии *PSK*; в этом случае смесь *альфа-железа* (см. *Железо*) и *цементита* превратится в *гамма-фазу* частично, а при нагреве выше линии *GSE* — полностью. Для сплава с 0,4% *C* закалка от *т-ры* существования смеси *альфа- и гамма-фаз* будет неполной, от *т-ры* же существования только одной *гамма-фазы* — полной. Получить при комнатной *т-ре* *гамма-состояние* сплава не удастся, и в зависимости от скорости охлаждения образуются разнообразные структуры переходного типа. Природа полученной при *З.* струк-

туры зависит от степени переохлаждения гамма-твердого раствора; скорость же охлаждения является лишь средством получения той или иной степени переохлаждения. Сущность наиболее распространенной *термической обработки* — 3. стали заключается в следующем. Как известно, железо существует в двух полиморфных (см. *Полиморфизм*) модификациях: альфа-железо и гамма-железо. Альфа-железо почти не растворяет углерод (он почти весь содержится в цементите); гамма-железо растворяет до 2% С. Нагрев выше линии *PSK* вызывает частичное образование твердого гамма-раствора; нагрев выше линии *GSE* растворяет в гамма-фазе до 2% С, т. е. весь содержащийся в стали цементит. По диаграмме состояния нельзя определить, с какой скоростью следует охлаждать сталь и какие структуры образуются при этом. Для получения таких данных при превращении *аустенита* пользуются *диаграммой изотермической*. Из диаграммы состояния железо — углерод следует, что аустенит ниже линии *PSK* неустойчив; однако для превращения его в *перлит* необходимо определенное время. Аустенит, переохлажденный до t -ры ниже 723°C , превращается в др. форму в течение некоторого времени. Продолжительность существования переохлажденного аустенита и время, необходимое для его превращения, характеризуются на изотермической диаграмме (рис.) кривыми *aa* и *вв*. Макс. скорость превращения аустенита в смесь *феррита* и цементита (*перлит* или его разновидности) соответствует его миним. устойчивости (выступ на кривой *aa*, рис.) и лежит в интервале t -р $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ (в сталях с 0,8% С — доли секунды). Необходимость быстрого охлаждения вызвана тем, что при медленном охлаждении аустенит успевает превратиться в *перлит* при t -рах $500\text{--}700^{\circ}\text{C}$ (луч *1*, рис.). При быстром же охлаждении аустенит находится в интервале t -р $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ весьма непродолжительное время и переохлаждается затем до более низких t -р. Следовательно, цель быстрого

охлаждения — подавить диффузионное перлитное превращение (диффузионным оно является потому, что при нем происходит *диффузия* углерода, требующая определенного времени). При достаточно быстром охлаждении можно фиксировать аустенитную структуру многих видов сталей, если в них содержится достаточное количество легирующих элементов (см. *Легирующая сталь*). В низколегированных и *углеродистых сталях* аустенит претерпевает бездиффузионное *мартенситное превращение*. Аустенит представляет собой твердый раствор углерода в гамма-железе. При низких t -рах гамма-железо, несмотря на наличие в нем растворенного углерода, менее устойчиво по сравнению с пересыщенным твердым раствором углерода в альфа-железе; поэтому решетка гамма-железа перестраивается в решетку альфа-железа, но без выделения (диффузии) углерода. T -ра начала мартенситного превращения зависит от состава стали, а не от скорости охлаждения. Превращение происходит в интервале t -р $M_n\text{--}M_s$ и в результате его образуется специфическая игольчатая структура — *мартенсит*. Структура мартенсита является осн. структурой

Изотермическая диаграмма аустенита с 0,8% С для определения его критической скорости заковки: *aa* — кривая начала превращения; *вв* — кривая конца превращения; *1* — луч медленного охлаждения; *2* — луч быстрого охлаждения; *3* — луч критической скорости охлаждения.



закаленной стали. Мартенсит обладает высокой твердостью (до 700 НВ), повышенной хрупкостью, большим (чем исходный перлит) удельным объемом, высоким электрическим сопротивлением, большой коэрцитивной силой, вследствие чего св-ва закаленной стали сильно отличаются от св-в стали отожженной (см. *Отжиг*). Это отличие тем больше, чем выше содержание в стали углерода. Получение закаленного (мартенситного) состояния обеспечивается быстрым охлаждением стали в области перлитного превращения. В процессе медленного охлаждения (луч 1, рис.) превращение происходит при высокой т-ре; следовательно, аустенит превращается в перлит (либо сорбит, либо троостит). Если охлаждение быстрое (луч 2, рис.), превращение при высокой т-ре произойти не успевает, и аустенит превращается в мартенсит. Следовательно, существует миним. скорость охлаждения, при которой аустенит переохлаждается до мартенситного интервала. Эта скорость наз. критической скоростью З. (луч 3, рис.). Для углеродистых сталей она порядка 150—300° С в секунду, поэтому их при З. нужно охлаждать очень быстро, применяя в качестве закалочной жидкости холодную воду. Для легированных сталей критическая скорость З. обычно значительно меньше, и мартенситная структура в них получается при более медленном охлаждении, напр. при охлаждении в масле или даже на воздухе. При З. на мартенсит не нужно быстро охлаждать изделие во всем интервале т-р; быстрое охлаждение необходимо лишь в зоне т-р быстрого распада аустенита в перлит (700—500° С). Ниже т-ры 500° С устойчивость аустенита вновь увеличивается, поэтому при З. ниже т-ры 400° С нет необходимости в быстром охлаждении. Это позволяет применять т. н. п р е р ы - в и с т у ю З., или З. в двух охладителях, заключающуюся в том, что при т-рах 700—400° С сталь охлаждают быстро, напр. в воде, а когда т-ра изделия снизится примерно до 400—300° С, его продолжают охлаждать медленно — на воздухе или в масле. Такая З. уменьшает закалочные напряжения, что приво-

дит к уменьшению коробления. Часто применяют ступенчатую закалку, при к-рой брак по трещинам и короблению минимален. Особенно широкое применение находит она при обработке на мартенсит изделий малого сечения из легированных сталей, напр., пружинной ленты. Часто прибегают также к изотермической закалке. Аустенит при этом превращается в бейнит, обладающий высокой твердостью и достаточной пластичностью. При п о в е р х - н о с т н о й З. (с применением преим. индукционного нагрева) структуры З. (чаще всего мартенсит) распространяются в теле изделия на некоторую заданную глубину (примерно на 1—5 мм). В результате повышаются твердость, усталостная прочность и износостойкость изделия, что сопровождается лишь незначительным изменением его формы и размеров. В связи с высокой хрупкостью закаленную сталь подвергают, как правило, отпуску, повышающему вязкость и пластичность, но несколько снижающему твердость и прочность. Типичными сплавами цветных металлов, к-рые можно упрочнить закалкой, являются алюминия сплавы, магния сплавы, никеля сплавы, нек-рые меди сплавы. Сплавы цветных металлов охлаждают, как правило, в воде, поскольку при структурных изменениях в них объем изменяется незначительно, и быстрое охлаждение не приводит к значительным внутренним напряжениям, короблению и т. п. З. цветных сплавов, обычно не способствующая повышению твердости и нередко повышающая пластичность, является лишь первой операцией термообработки; после З. (получения переохлажденного состояния) следует старение (естественное — при комнатной т-ре, искусственное — при повышенной), ведущее к частичному распаду переохлажденного твердого раствора, что наиболее значительно изменяет св-ва — повышает прочность и твердость, снижает пластичность. Особым видом является закалка из жидкого состояния, позволяющая получить большую

степень пересыщения, чем 3. из твердого состояния. Нагрев металлов (в том числе чистых металлов) ведет к увеличению количества вакансий и сохранению их повышенного количества после быстрого охлаждения от высоких т-р. Такое превращение также относится к закалке. В пром. условиях для 3. как черных, так и цветных сплавов применяют разнообразные устройства и машины. Вопросы технологии 3. обычно рассматривают одновременно с вопросами технологии др. видов термообработки.

Лит.: Штейнберг С. С. Основы термической обработки стали. Свердловск — М., 1945; Курдюмов Г. В. Явления закалки и отпуска стали. М., 1960; Гуляев А. П. Термическая обработка стали. М., 1960; Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. М., 1974. А. П. Гуляев.

2) Закалка стекла — термообработка, заключающаяся в нагреве до т-р порядка 700—900° С и последующем резком, но равномерном охлаждении поверхностного слоя стекла. Повышает его мех. прочность и термостойкость. Явление 3. стекла впервые обнаружили в 17 в. при охлаждении в воде капель расплавленного стекла с получением

г. н. батавских слезок (группевидных капель объемом 2—3 см³ с тонким «хвостиком», отличающихся высокой прочностью при ударе и сжатии и самопроизвольно со взрывом превращающихся в порошок при повреждении поверхности или отмывании «хвостика»). Для упрочнения стеклянных изделий в пром. масштабах 3. начала использоваться в 30-х гг. 20 в. В процессе 3. на поверхности стекла возникают равномерно распределенные сжимающие остаточные напряжения, повышающие его предел прочности под действием внешних изгибающих или ударных нагрузок. Поверхность стекла охлаждают газовым потоком (воздухом) или жидкостью. Жидкостную 3. осуществляют, погружая изделие в жидкость, распыляя ее или поливая ею поверхность нагретого стекла. В процессе этой термообработки используют жидкости с высокой т-рой кипения, в частности кремнийорганические, к-рые особенно значительно повышают прочность вследствие образования на поверхности стекла пленки из полимеризованной двуокиси кремния. Степень 3. определяют как $\Delta = N/b$, где N — число порядков, при к-рых полностью компенсируется (с помощью кварцевого клина) разность

Свойства закаленного и незакаленного стекла

Стекло	ρ , г/см ³	$\sigma_{сж}$, кгс/мм ²	$\sigma_{из}$, кгс/мм ²	Высота (в м), при падении с которой шара массой 800 г стекло разрушается	Термостойкость, °С	E , кгс/мм ²	Площадь и форма осколков	Стрела прогиба, % к длине
Закаленное	2,5	80—90	5—6	0,5	40—45	6800	Площадь до нескольких квадратных дециметров, кинжаловидной формы	0,3
Незакаленное	2,5	80—90	25—30	3,0	80—90	6800	Площадь до 1000 мм ² , окатанной формы при максимальном размере не более 32 мм	0,5

Примечание: Степень закалки закаленного стекла $4 N/\text{см}$.

хода обыкновенного и необыкновенного лучей поляризованного света, считая один порядок равным 540 мкм (средней длине волны видимого света); b — длина пути луча. Обычно число порядков приводят к 1 см. При $N/\text{см} = 2$ стекло слабо закалено, при $N/\text{см} = 2 \div 4$ — закалено, при $N/\text{см} > 4$ — сильно закалено. Если стекло охлаждают воздушной струей, степень З. обычно равна 5—6 $N/\text{см}$, если жидкостью — 10—15 $N/\text{см}$. Степень З. высокопрочного стекла не меньше $4N/\text{см} = 2160 \text{ мм/см}$ (1000 мм/см эквивалентна приблизительно 3,9 кгс/мм²). Прочность закаленного стекла при изгибе и ударе в пять-шесть раз больше, чем отожженного; кроме того, оно иначе разрушается (табл.). Закаленные стекло применяют при остеклении автомобилей, вагонов и др. транспортных средств, а также витрин и дверей в различных общественных зданиях, метро и др. Изделия из закаленного стекла оформляют еще до З., поскольку оно не поддается резанию, сверлению, шлифованию и др. видам мех. обработки, кроме заделки царапин.

Лит.: Технология стекла. М., 1967; Богуславский И. А. Высокопрочные закаленные стекла. М., 1969; Бондарев К. Т. Стекло в строительстве. К., 1969. Е. П. Гармаш.

ЗАКЛЕПОЧНАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся высокой пластичностью. Используется для изготовления заклепок. Выбирается в зависимости от вида деформирования заклепочного соединения (срез, смятие, отрыв головок), особенности внешних нагрузок, действующих на конструкцию (статические или динамические), т-ры и среды. Из стали марок Ст.2 и Ст.3 изготовляют заклепки для прочных и плотных швов, из стали марок 15А и 20А — для прочных швов. Предел прочности стали марок Ст.2 и Ст.3 составляет соответственно не менее 34—42 и 38—47 кгс/мм², относительное удлинение — не менее 26 и 22% при осадке 40—50%. Из мартеновской стали марок Ст.0, М09кп, М12кп, М18кп и М18 изготовляют заклепки для малонагруженных швов. В стали марки Ст.0 должно быть не более 0,20% С. Мартеновская сталь марок 20ХМА и 20ГА используется для высоконагруженных заклепочных

соединений. Сопротивление на срез стали марок 20ХМА и 20ГА составляет не менее 50 кгс/мм² после термической обработки. В соединениях конструкций, подверженных действию высоких т-р, коррозии и эксплуатируемых под интенсивным воздействием ударных и вибрационных нагрузок (авиационные конструкции, железнодорожные мосты), применяют заклепки из легированной стали марки 12Х18Н9Т. З. с. выплавляют в основных мартеновских и электрических печах и поставляют в прутках диаметром 8—40 и в мотках диаметром 6—16 мм. Допускаемое уменьшение относительного удлинения прутков диаметром 8 мм составляет 1% на каждый миллиметр уменьшения диаметра.

Лит.: Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. 2. М., 1962; Конструкционные материалы. Энциклопедия современной техники, т. 1. М., 1963.

Е. А. Денисович.

ЗАПОЛНИТЕЛИ для бетонов и растворов — природные или искусственные материалы, образующие в смеси с вяжущими материалами бетоны или растворы. З. снижают расход вяжущего, увеличивают стойкость бетонов и растворов к агрессивному внешнему воздействию, уменьшают усадочное трещинообразование, вредное влияние экзотермии при тепловой обработке, объемную массу и теплопроводность, способствуют созданию в бетоне жесткого скелета. З. классифицируют по величине и форме зерен, объемной массе, структуре, способу получения и назначению. По величине зерен З. подразделяют на крупные (величина зерен 5—100 мм) и мелкие (до 5 мм); по форме зерен — на гравий с округлой формой и относительно гладкой поверхностью, щебень с угловой неправильной формой и шероховатой поверхностью и песок, зерна которого имеют угловатую неправильную форму. В зависимости от объемной массы различают З. легкие (масса до 1000 кг/м³) и тяжелые (масса свыше 1000 кг/м³). Песок относится к легким З. при объемной массе до 1200 кг/м³. По структуре З. бывают плотные и пористые. З. применяют

для растворов, для тяжелого и легкого, а также спец. бетонов: жаростойкого, кислотостойкого, щелочестойкого, декоративного и др. К 3. для *тяжелого бетона*, используемого в сборных и монолитных конструкциях и изделиях пром., жилых и общественных зданий и сооружений, относятся щебень из природного камня, щебень из гравия, гравий (крупный 3.) и песок природный и дробленый (мелкие 3.). Щебень из природного камня получают дроблением горных пород (осадочных, изверженных или метаморфических). По крупности зерен его подразделяют на фракции 5—10; 10—20; 20—40 и 40—70 мм, по прочности — на марки 200; 300; 400; 600; 800; 1000 и 1200. Марка определяется дробимостью щебня при сжатии (раздавливании) в цилиндре и характеризуется процентом потери массы при испытании на раздавливание в сухом или насыщенном водой состоянии. *Морозостойкость* щебня — 15; 20; 50; 100; 150; 200 и 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Щебень из гравия и гравий для армированного и неармированного бетона, получаемый дроблением гравия и валунов и рассевом природных гравийно-песчаных смесей, характеризуются дробимостью при сжатии (раздавливании) в цилиндре, к-рая соответствует потере массы после испытания. Марки щебня из гравия Др8, Др12 и Др16 соответствуют потере 10; 11—14 и 15—18%; марки гравия Др8, Др12 и Др16 — потере 8; 9—12 и 13—16%. Щебень и гравий не должны содержать более 15% зерен пластинчатой и игольчатой формы, толщина или ширина к-рых меньше длины в три и более раза. Щебень из природного камня не должен содержать более 10% зерен слабых и выветренных пород. Количество пылевидных илестых и глинистых частиц не должно превышать 2—3% в щебне из осадочных карбонатных пород, 1% в щебне из изверженных метаморфических и остальных осадочных пород, в щебне из гравия и в гравии. Содержание в щебне глины (в комках)

не должно превышать 0,25%. Песок для бетонов и растворов подразделяют на тяжелый (объемная масса более 1200 кг/м³) и легкий (объемная масса менее 1200 кг/м³); природный, образовавшийся в результате естественного разрушения горных пород, и дробленный, получаемый дроблением горных пород. Для легких бетонов применяют пористые неорганические 3. — сыпучие материалы с объемной массой не более 1200 кг/м³ при крупности зерен до 5 мм (песок) и не более 1000 кг/м³ при крупности зерен от 5 до 40 мм (щебень, гравий). По происхождению пористые неорганические 3. подразделяют на природные и искусственные. Природные 3. могут быть вулканического и осадочного происхождения. К 3. вулканического происхождения относятся щебень и песок из *пемзы*, вулканического шлака или вулканического *туфа*. Щебень и песок из пемзы — пористая сыпучая порода губчатого или волокнистого строения от серовато-белого до коричневого цвета, состоящая из кислого вулканического стекла. Щебень и песок из вулканического шлака — крупнопористая и пористая сыпучая порода ноздреватого или губчатого строения от красного до черного цвета, состоящая из вулканического стекла осн. состава. Щебень и песок из вулканического *туфа* — мелкопористая порода, состоящая из сцементированного вулканического стекла и пепла. 3. осадочного происхождения — щебень и песок из карбонатной и кремнеземистой пород. К щебню и песку из карбонатной породы относятся пористые *известняки*, известняки-ракушечники и известковые туфы. Они состоят из карбоната кальция — *кальцита* и двойной углекислой кальциевомагниевои соли — *доломита*. Щебень и песок из кремнеземистой породы состоят в основном из кремнезема. Искусственные 3. — пористые сыпучие материалы, получаемые термической обработкой силикатного сырья и подвергнутые рассеву или дроблению и рассеву. Искусственные 3. подразделяют на 3. — отходы пром-сти и специально изготовленные 3. К 3. — отходам пром-сти относятся щебень и песок из топливного или отвалного метал-

ургического *шлака*, к специальным изготовленным *З.* — гравий и песок керамзитовый, песок керамзитовый дробленый, гравий полый керамический, щебень и песок из пористого металлургического *шлака* (*шлаковая пемза*), щебень и песок аглопоритовый, гранулированный *шлак*, щебень и песок из вспученного перлита, обсидиана и др. водосодержащих вулканических стекол и вспученного вермикулита (гидратных слюд). В зависимости от крупности зерен пористые *З.* подразделяют на фракции: песок с зерном до 1,2 и 1,2—5 мм; щебень (гравий) — 5—10; 10—20 и 20—40 мм. По объемной массе в сухом состоянии (кг/м^3) пористые *З.* бывают марок: 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 500; 600; 800 и 1000 для щебня и песка и 1200 — только для песка. Св-ва щебня из природного камня для строительных работ регламентируются ГОСТом 8267—75; щебня из гравия для строительных работ — ГОСТом 10260—74; гравия для строительных работ — ГОСТом 8268—74. Св-ва гравия керамзитового обуславливаются ГОСТом 9759—71, щебня аглопоритового — ГОСТом 11991—66, щебня и песка из пористого металлургического *шлака* (*шлаковой пемзы*) — ГОСТом 9760—75, перлита вспученного — ГОСТом 10832—74, вермикулита вспученного — ГОСТом 12865—67, щебня из доменного *шлака* для бетона — ГОСТом 5578—65. Технические требования к песку для строительных работ регламентируются ГОСТом 8736—67.

Лит.: Гордон С. С. Пески для бетонов. М., 1957; Викторов А. М. Каменные материалы для бетона. М., 1967; Ицкович С. М. Заполнители для бетона. Минск, 1972; Производство заполнителей для бетона из песчано-гравийных смесей. М., 1973. В. В. Дробот.

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ — покрытия, защищающие поверхность металлических и неметаллических изделий от разрушающего воздействия внешней среды. Воздействие среды может быть химическим (напр., при окислении, коррозии металлов, диффузии, см. *Антикоррозионные покрытия*, *Жаростойкие покрытия*), физическим (напр., при прохождении, отражении и поглощении тепловых потоков, см. *Опти-*

ческие покрытия) и механическим (в условиях гравия, износа, эрозии металлов, см. *Износостойкие покрытия*, *Керамические покрытия*, *Сверхтвердые покрытия*). Часто это воздействие бывает комбинированным, напр. при высокотемпературной мех. эрозии, окислении и диффузии газообразных примесей из окружающей среды. *З. п.* бывают металлические (алюминиевые, бериллиевые, медные, никелевые и др.) и неметаллические (напр., *эмали*); одно- и многокомпонентные. К однокомпонентным относятся покрытия из чистых металлов: алюминия, бериллия, меди, никеля и др. Многокомпонентные покрытия представляют собой однородные *твердые растворы* или многофазные (в частности, слоистого типа) системы. Разработаны комбинированные многофазные *З. п.* с элементами саморегулирования, напр. самозалечивания *трещин*. Одно из таких покрытий представляет собой пористый слой *силицида* ниобия NbSi_2 , пропитанный расплавом олова — алюминий. При t -ре до 1400°C жидкий оловоалюминиевый сплав, отличающийся высокой подвижностью, самозалечивает местные дефекты, образующиеся в слое *силицида* в процессе эксплуатации изделия. Подобное (двухфазное) покрытие в большей степени повышает эффективность и надежность защиты изделий от окисления по сравнению с покрытием, состоящим из одной фазы — NbSi_2 . К многофазным относятся также покрытия с испаряющейся жидкой фазой (см. *Потепьющие покрытия*). Св-ва *З. п.* определяются их составом, структурой и *адгезией* с материалом основы. Перед нанесением покрытий поверхность изделий тщательно очищают от мех. и хим. загрязнений. Широко применяют очистку поверхности песком, металлическими оплсками или мелким *абразивным материалом*. Весьма эффективна ультразвуковая очистка в спец. ваннах с моющими растворами. Окислы удаляют также хим. травлением или электролитическим полированием. При нанесении *З. п.* в вакууме окончательную очистку поверхности

изделий осуществляют нагревом до т-р, достаточных для удаления загрязнений, или обработкой в тлеющем разряде. На практике обычно сочетают несколько способов очистки, напр. пескоструйную очистку с ультразвуковой, электролитическое полирование с обработкой в тлеющем разряде. З. п. создают различными способами и технологическими приемами. Наиболее распространен способ нанесения З. п. электроосаждением. Большинство металлических покрытий получают электроосаждением из водных растворов, некоторые покрытия — из расплавов солей, органических растворов или электрофорезом (см. *Гальванические покрытия, Электрохимические комбинации, Электрофорезные покрытия*). Способ нанесения З. п. в вакууме первоначально применялся для нанесения кадмия, титана и алюминия на поверхность стальных изделий, затем с его помощью начали получать многокомпонентные и многофазные металлические и неметаллические покрытия (см. *Вакуумные покрытия*). Разработаны способы нанесения покрытий с использованием хим. реакций, пиролиза в газовой фазе (см. *Газофазные покрытия*), диффузионного насыщения поверхности (см. *Диффузионные покрытия*). З. п. создают также плавлением покрываемого материала и распылением жидкой фазы (см. *Газопламенные покрытия, Плазменные покрытия*). Плотное покрытие образуют быстролетящие частицы материала при соударении с поверхностью (см. *Детонационные покрытия*). Различные З. п. получают традиционными способами — *эмалированием и лакированием*. Вследствие многообразия и сложности физико-химических процессов, происходящих при создании З. п., адгезия материала основы с покрытием определяется различными факторами: мех. и хим. взаимодействием, взаимным смачиванием, растворением, диффузией. В зависимости от системы материал основы — покрытие один из перечисленных факторов приобретает решающее значение: напр., при пламен-

ных способах нанесения покрытий — мех. взаимодействие, при вакуумных — взаимное растворение и диффузия. Мех. соединение недостаточно прочно, поскольку обусловливается только шероховатостью поверхности. Предпочтительнее хим. взаимодействие и сопутствующее ему процессы взаимного растворения и диффузии. Повышение т-ры — основной способ активирования всех хим. процессов, поэтому для получения достаточно прочного соединения покрытия с материалом основы покрытие осаждают на предварительно нагретую поверхность или осуществляют *изотермический отжиг* материала основы и покрытия. Внутренние напряжения, возникающие в З. п. из-за различия коэфф. *термического расширения* материала основы и покрытия, во многом определяют прочность соединения, его эксплуатационные св-ва. Остаточные внутренние напряжения снижают прочность соединения, приводят к преждевременному разрушению покрытия. При больших напряжениях сжатия появляется вероятность отслоения покрытия от материала основы, при растягивающих напряжениях в покрытии могут возникнуть трещины. Для уменьшения внутренних напряжений обычно стремятся «согласовать» св-ва материала основы и покрытия, в частности максимально сблизить их температурные коэфф. линейного расширения. Чем тоньше покрытие, тем меньше в нем внутренние напряжения. Иногда между материалом покрытия и основой создают «согласованный» промежуточный слой, предварительно нанося его на основу или используя взаимную диффузию атомов контактирующих материалов при формировании покрытия либо при дополнительном изотермическом отжиге. Прочное соединение образуется в результате взаимной диффузии атомов и образования в пограничном слое твердого раствора, в пределах к-рого происходит монотонное изменение св-в от материала основы к покрытию. Эти условия выполнимы для многих систем материал основы — покрытие, в т. ч. и для материалов с резко отличающимися хим. св-вами, напр. для металла и керамики, в каждом из к-рых раствора-

тятся, упорядочивая связь, поверхностная пленка окислов металла. Образование новых хим. соединений в перекрестном слое менее желательно из-за ухудшения мех. св-в. Толщину покрытия регулируют в процессе его нанесения или после завершения всего технологического цикла. Применяют непрерывные методы контроля толщины покрытия при нанесении его на движущуюся полосу, ленту или проволоку. Структуру и св-ва покрытия исследуют различными способами разрушающего или неразрушающего контроля. З. п., значительно сокращающие безвозвратные потери металла от коррозии, чаще всего наносят на поверхность стальных изделий. Широко применяются такие изделия с З. п., как белая жечь, оцинкованные стальные листы, а также трубы, арматура и листы, покрытые алюминием, хромом, титаном или эмалью. Производятся стальные листы, плакированные нержавеющей сталью и сплавами титана. В зависимости от толщины З. п. срок эксплуатации стальных изделий увеличивается в два — семь раз. Замена дорогостоящих металлов и их сплавов сталью с защищающим ее покрытием дает возможность повысить экономическую эффективность использования материалов. З. п. применяют в хим. машиностроении, атомной энергетике, авиационной и космической технике.

Лит.: Виткин А. И., Тейндл И. И. Металлические покрытия листовой и полосовой стали. М., 1971; Получение покрытий высокотемпературным распылением. М., 1973; Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. М., 1973; Найнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974; Высокотемпературные неорганические покрытия. Пер. с англ. М., 1968. Б. А. Мовчан.

ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, предназначенные для изоляции от ударных (частично и воздушных), а также структурных звуковых волн. Неорганические З. м. подразделяют на пористо-волокнистые и сыпучие (естественные и искусственные). Пористо-волокнистые бывают на основе минеральной ваты, стеклянной ваты, асбестового волокна и др. волокон. В качестве сыпучих используют песок речной, шлак топливный или металлургический и др. В зависи-

мости от величины относительного сжатия (K) под нагрузкой 200 кгс/м² различают З. м. жесткие с малой деформируемостью ($K \leq 5\%$), полужесткие ($K = 5-15\%$) и мягкие ($K \geq 15\%$). Снижению уровня ударных и звуковых шумов способствует малый динамический модуль упругости З. м., упругие св-ва скелета материала и наличие воздуха в его порах. По величине динамического модуля упругости (E_d) З. м. подразделяют на три группы: З. м. с $E_d < 10$ кгс/см², З. м. с $E_d = 10-50$ кгс/см² и З. м. с $E_d = 50-150$ кгс/см². З. м. первой группы применяют в виде плит, рулонов и матов, уложенных сплошным слоем в конструкциях перекрытий с «плавающим» полом, а также многослойных перекрытий, стен и перегородок для изоляции от воздушного и ударного шума. З. м. второй группы используют в виде полосовых и штучных прокладок в конструкциях междуэтажных перекрытий с «плавающим» полом и в многослойных перекрытиях. Ширина прокладок 0,4—1 м, толщина не более 0,03 м, расстояние между прокладками в зависимости от расчетной нагрузки 0,5—1 м. Эти материалы создают изоляцию от ударного шума. З. м. третьей группы применяют в виде засыпок в многослойных конструкциях междуэтажных перекрытий для изоляции от ударного и воздушного звука. Свойства З. м. регламентируются ГОСТами: 16297—70, 9573—72, 2245—43, 15588—70, 15116—69, 4598—60, 8928—58, 8736—67; МРТУ: 6—05—1150—68, 7—19—68, ТУ—21—24—8—68. См. также *Звукопроницаемость*.

Лит. см к ст. *Звукопоглощающие материалы*. К. Э. Горяйнов.

ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, предназначенные для поглощения звуковых волн. Звукопоглощающая способность обусловлена пористой структурой материала и наличием большого количества открытых сообщающихся между собой пор, макс. диаметр к-рых не превышает 2 мм; общая пористость должна быть не менее

75 об.%. Если между З. м. и ограждением есть воздушный промежуток, звукопоглощающая способность становится большей. З. м. обеспечивают требуемую продолжительность реверберации — постепенного затухания в закрытых помещениях звука после выключения его источника. Продолжительность реверберации в зависимости от вида помещения и частот составляет от 0,2 до 2 сек. Различают З. м. с волокнистым, зернистым и ячеистым строением; мягкие, полужесткие и твердые. В З. м. с твердым скелетом звук поглощается в результате вязкого трения в порах, при этом звуковая энергия переходит в тепловую. Пористые З. м. с гибким скелетом поглощают звук вследствие вязкого трения в порах, а также релаксационных потерь, связанных с деформированием гибкого скелета. В панельных материалах и конструкциях звукопоглощение обусловлено потерями из-за деформирования панелей в целом и частично связано с обменом тепла между различно деформируемыми соседними частями панели. К мягким З. м. относятся материалы на основе *минеральной ваты* и *стеклянного волокна* с объемной массой до 70 кг/м^3 ; их коэфф. звукопоглощения на средних частотах ($500\text{—}1000 \text{ гц}$) — $0,7\text{—}0,85$. Мягкие З. м. применяют в сочетании с перфорированным листовым экраном или с покрытием. К полужестким З. м. относятся, напр., минераловатные или стекловолокнистые плиты с объемной массой $80\text{—}130 \text{ кг/м}^3$. Их коэфф. звукопоглощения на средних частотах $0,65\text{—}0,75$. Поверхность таких З. м. покрывают пористой краской или пленкой. Полужесткими З. м. являются также базальтовые звукопоглощающие маты, получаемые из супертонкого *базальтового волокна* с покрытием из стеклянной ткани, простроенные стеклянной нитью. Объемная масса их $17\text{—}25 \text{ кг/м}^3$, коэфф. звукопоглощения на частотах $1000\text{—}7000 \text{ гц}$ — $0,9\text{—}0,99$. К твердым З. м. относятся плиты минераловатные типа «Акминит» и «Акмигран», получаемые из гранулированной или суспендированной минер. ваты и

коллоидного (крахмально-каолинового) связующего. Лицевая сторона плит окрашена и имеет фактуру в виде направленных трещин, имитирующих поверхность выветрившегося известняка, рифленую или бороздчатую. Объемная масса их $300\text{—}400 \text{ кг/м}^3$, коэфф. звукопоглощения на частотах $500\text{—}1000 \text{ гц}$ — $0,6\text{—}0,7$. Плиты предназначены для облицовки потолков и стен общественных и производственных помещений с относительной влажностью $70\text{—}80\%$. Твердые З. м. служат также плиты «Силикор» и плиты акустические гипсовые перфорированные. Плиты «Силикор» получают из смеси цемента, извести, песка, *алюминевой пудры*, воды, жидкого (растворимого) стекла и регуляторов твердения. Плиты отличаются пористой структурой, их лицевой слой имеет различную фактуру и цвет. Изготавливают плиты формованием с последующей автоклавной обработкой и фрезерованием. Их объемная масса не более 350 кг/м^3 , коэфф. звукопоглощения на частотах $250\text{—}1000 \text{ гц}$ — $0,6\text{—}0,8$. Плиты акустические гипсовые перфорированные получают из *формовочного гипса*, армированного стекловолокном. Марка гипса должна быть не ниже 100. Звукопоглощающий слой этих плит состоит из минераловатной плиты, уложенной по прокладке из пористой бумаги; плиты оклеивают алюминиевой фольгой. Коэфф. перфорации плит должен быть не менее 12% ; коэфф. звукопоглощения на частотах $500\text{—}1000 \text{ гц}$ — $0,5\text{—}0,9$. З. м. применяют в помещениях, установках для вентиляции и кондиционирования воздуха, в вычислительных центрах, машинно-писных бюро, конторских и торговых помещениях, закрытых спортивных сооружениях, зрительных и лекционных залах, телевизионных, радио- и киносеменных студиях и т. д. Св-ва З. м. регламентируются ГОСТами 16297—70, 7076—66, 15116—69, 4598—60, 17918—72, 8928—70, ОСТ УССР 5004—72 и др. См. также *Звукопроницаемость, Акустические материалы*.

Лит.: Юдин Е. Я. [и др.]. Звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы. М., 1966; Звукопоглощающие материалы и конструкции. Справочник. М., 1970.
К. Э. Горьнов.

ЗВУКОПРОНИЦАЕМОСТЬ — свойство ограждений или материалов пропускать звуковую энергию. З. повышается с увеличением *пористости* (ростом диаметра и количества *пор*), а также с уменьшением толщины материала. Большая З. *пористых материалов* обуславливается значительной воздухопроницаемостью (см. *Газопроницаемость*) и малыми диссипативными потерями звуковой энергии в процессе прохождения звука через материал (малыми потерями на трение в порах и при деформировании гибкого скелета материала). З. воздухо непроницаемых материалов (напр., бетона) значительно меньше, чем пористых. Чтобы оценить звукоизоляционные св-ва материалов при распространении звуковой энергии по воздуху, используют коэфф. звукопроницаемости $\tau = I_2/I_1$, где I_2 — интенсивность звука, прошедшего через материал; I_1 — интенсивность звука до прохождения материала. Для ограждающих конструкций этот коэфф. определяется, помимо отношения интенсивностей звука, площадью конструкции (S) и величиной поглощения (A) в изолированном помещении. Так, если средняя интенсивность звука в помещении с источником шума вблизи ограждения составляет I_1 , а в изолированном помещении — I_2 , то звуковая энергия, попадающая на ограждение площадью S , равна $I_1 S$, а звуковая энергия, проникающая в изолированное помещение через ограждение, — $I_2 S \tau$. При установившемся процессе звуковая энергия, проникающая в изолированное помещение, равна энергии, поглощаемой в нем, т. е. $I_1 S \tau = I_2 A$. Отсюда

$$\tau = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{A}{S}.$$
 Большее значение имеет величина, обратная τ (коэфф.

звуко непроницаемости):

$$\frac{1}{\tau} = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{S}{A}. \quad (1)$$

Коэфф. звуко непроницаемости характеризует ослабление интенсивности звука при прохождении через ограждение, а его десятичный логарифм — потери звуковой энергии при прохождении через ограждение, или звукоизоляционную способность ограждения (R). Если в выражении (1) перейти от абс. значений интенсивностей к уровням интенсивностей (разделив I_1 и I_2 на пороговое значение интенсивности I_0 и взяв десятичный логарифм от обеих частей равенства), получим выражение

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg S/A, \quad (2)$$

где L_1 и L_2 — средние уровни интенсивности звука до и после прохождения ограждающей конструкции. Третий член правой части выражения (2) представляет собой поправку, учитывающую величину ограждающей конструкции и акустические св-ва изолированного помещения. Звукоизоляционная способность плотных воздухо непроницаемых материалов также зависит от массы единицы поверхности ограждения, жесткости конструкции, диссипативных потерь (в материале, на краях конструкции) и частоты звука. См. также *Звукоизоляционные материалы*, *Звукопоглощающие материалы*. Лит.: Борьба с шумом. М., 1964; 3 а б о р о в В. И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. М., 1969.

В. Н. Мякишин.

ЗЕРКАЛЬНЫЙ ЧУГУН — чугун с зеркальной поверхностью излома; вид *ферросплава*. Используется с начала 20 в. Отличается повышенным содержанием марганца (10—25%). Выплавляют З. ч. (табл.) в доменных печах из железной руды с добавлением марганцевой. Поставляют З. ч. в виде чушек массой не более 45 кг с двумя пережимами. Применяют его при раскислении сталей, используют как легирующую добавку при получении *марганцовистой стали* (сталь марки Г13) и *немагнитных чугунов*. Марки и хим. состав З. ч. определены ГОСТом 5164—49.

Химический состав зеркальных чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %			
	Mn	Si	P	S
		не более		
ЗЧ1	20,1—25,0	2,0	0,22	0,03
ЗЧ2	15,1—20,0	2,0	0,20	0,03
ЗЧ3	10,0—15,0	2,0	0,18	0,03

Лит.: Ефименко Г. Г., Гиммельфарб А. А., Левченко В. Е. Металлургия чугуна. К., 1974. В. И. Литовка.

ЗОЛА — обожженная минеральная (неорганическая) часть топлива, образующаяся при полном его сгорании. Содержание З. (золепость) составляет (в %): в бурых углях — 10—15, каменных углях — 3—40, антраците — 2—30, горючих *сланцах* — 50—80, топливном торфе — 2—30, дровах — 0,5—1,5, растительном топливе др. видов — 3—5, мазуте — 0,15—0,2. В зависимости от вида подготовки и условий сжигания топлива различают З. пылевидного и слоевого сжигания. Твердое минер. топливо (уголь, сланцы) сжигают обычно после дробления и помола, реже — в естественном виде (в кусках) без предварительной обработки. На тепловых электростанциях при сжигании угля в пылевидном состоянии конгломераты различных соединений, образующиеся из его минер. части, выделяются в форме пылевидной массы. Мелкие и легкие частицы (размером от 5 до 100 мкм), содержащиеся в З. в количестве до 80—85%, уносятся из топок котлоагрегатов дымовыми газами, образуя золу-унос, более крупные частицы оседают на под топки, сплавляются в кусковые *шлаки* или стекловидную шлаковую массу, к-рая подвергается затем грануляции. По хим. составу зола-унос минер. топлива на 85—90% состоит из окислов кремния, алюминия, железа (окисного и закисного), кальция, магния (табл.). В зависимости от вида углей, условий их сжигания в золе-уносе содержится от 0,5 до 20% и более

несторговический состав кислой золы-уноса каменных и бурых углей, антрацита и торфа характеризуется наличием метаксолина, различных модификаций свободной кремнекислоты, глинозема, *муллита* и др. веществ. Такие З. не содержат свободной извести, а общее количество СаО в них — не более 10%. В состав основной золы-уноса, помимо упомянутых соединений, входят силикаты и алюминаты кальция; содержание свободной СаО — до 10—15%. Эти З. образуются при сжигании сланцев, а также сравнительно молодых углей. Наличие силикатов и алюминатов кальция и свободных окислов кремнезема и глинозема, высокая степень аморфизации структуры, преобладающее содержание стекловидных частиц тонких фракций обуславливают активность З., т. е. способность при затворении водой взаимодействовать с гидроксидом кальция с образованием гидросиликатов, гидроалюминатов и др. комплексных соединений, обеспечивающих структурообразование искусственного камня. Области применения З. и шлаков многочисленны. Кусковой шлак используют как *заполнитель* для бетона в дорожном строительстве, для теплоизоляционных засыпок; золу-унос — в качестве гидравлической *добавки* к цементу (10—15%), как компонент цементной сырьевой смеси (основные З.); в качестве кремнеземистого компонента при произ-ве автоклавного и безавтоклавного *газобетона*, легких плотных и поризованных *керамзитобетон*; для произ-ва искусственных пористых заполнителей (аглопоритового и зольного гравия, золокерамзита); как отопляющую и выгорающую

Химический состав и свойства золы-уноса

Угли	Содержание компонентов, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O
Антрацитовые тощие донецкие	32—50	13—27	2—14	0,9—4	0,5—3	0,2—2,7	2—4
Газовые и длиннопламенные донецкие	41—52	21—27	12—19	3—5	0,5—2,5	0,5—1,5	2—3,5
Газовые и длиннопламенные львовско-волынские	41—49	21—26	15—20	3—5	2—2,5	0,8—1,3	1,3—4,2
Бурые	50—65	17—23	6—9	4—7	1—1,5	0,7—1,6	0,4—1,0

ую добавку в прои-з-ве глиняного кирпича; в качестве кремнеземистого компонента при прои-з-ве силикатного кирпича. Золошлаковые смеси находят применение в прои-з-ве местных вяжущих компонентов типа известково-зольных, цементно-зольных, известково-цементно-зольных. Лит.: Баранов А. Т., Бужевич Г. А. Золобетон ячеистый и плотный. М., 1960; Волженский А. В. [и др.]. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. М., 1969; Иванов И. А. Легкие бетоны на основе зол электростанций. М., 1972; Использование новых легких материалов и отходов производства в строительстве. М., 1972. А. П. Чехов.

ЗОЛОБЕТОН — бетон, получаемый в результате твердения минер. вяжущего, тонкодисперсной золы антрацитовых, каменных и бурых углей, спец. добавок и воды; разновидность ячеистого и плотного бетона. В качестве вяжущих компонентов используют портландцемент, известь или их смесь. Для прои-з-ва ячеистого З. применяют газо- или пенообразователи. Твердение З. происходит при автоклавной обработке, пропаривании и (реже) в естественных условиях. Автоклавная обработка — наиболее эффективный метод повышения мех. прочности бетона. Физико-механические св-ва З. определяются соотношением между вяжущим и золой, дисперсностью золы и водовяжущим отношением. Водопоглощение З. составляет 30—40 об. %, прочность на сжатие зависит от вида вяжущего, условий твердения и объемной массы. Так, газозолобетон на цементе после пропаривания имеет прочность на сжатие (при объемной массе 900—950 кг/м³) 65—80 кгс/см²; прочность на сжатие газозолобетона на смешанном вяжущем после автоклавной обработки

8 кгс/см² (объемная масса 400 кг/м³), 25 кгс/см² (объемная масса 500 кг/м³), 50 кгс/см² (объемная масса 700 кг/м³) и 95 кгс/см² (объемная масса 1000 кг/м³). У плотного З. после пропаривания (при объемной массе 1200—1400 кг/м³) прочность на сжатие 50—75 кгс/см². Морозостойкость З. зависит от состава: ячеистый З. на цементе после автоклавной обработки выдерживает 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания. У ячеистого З. на извести морозостойкость невысока. Усадка автоклавного ячеистого З. — 0,2—0,35 мм/м, неавтоклавного 2—3 мм/м, что ведет к появлению трещин. Трещиностойкость повышается при введении до 30% крупного заполнителя (шлака, природного и искусственного пористого щебня и др.). В изделиях из ячеистого бетона обязательна защита арматуры от коррозии. Для изделий из плотного З. защита арматуры необходима, если их применяют во влажных условиях. Изделия из ячеистого З. изготавливают формованием в индивидуальных формах или формованием большим массивом (10—12 м³, высотой 1,2 м) с последующим разрезанием (т. п. резательная технология). После автоклавной обработки изделия калибруют на фрезерной машине. Из ячеистого З. изготавливают армированные панели для наружных стен жилых, производственных и общественных зданий, плиты для бесчердачных крыш, чердачных и междуэтажных перекрытий. Плотный З. идет на изготовление стеновых камней, крупных блоков, панелей и др. изделий. Св-ва ячеистого З. (однородность структуры, объемную массу, влажность, водопоглощение, морозостойкость, коэфф. теплопроводности, усадку, прочность на сжатие и растяжение, призмную прочность) определяют по ГОСТу 12852—67.

Лит.: Баранов А. Т., Бужевич Г. А. Золобетон ячеистый и плотный. М., 1960; Кривицкий М. Я., Левин Б. И., Макаричев В. В. Ячеистые бетоны (технология, свойства и конструкции). М., 1972; Pavelka J. Porobeton v pozemním stavitelství. Praha, 1971. Ю. Д. Нацисевский. **ЗОЛОПОРИТОБЕТОН** — бетон, изготавливаемый на основе шлаковой

Потери при прокаливании	Удельная поверхность, см²/г	Плотность, г/см³	Объемная масса, кг/м³
10—30	2000—3500	2,24—2,48	700—1000
2—5	3000—4000	2,10—2,25	750—1000
1,3—4,5	3000—4500	2,05—2,10	800—1000
3—13	1500—2000	2,10—2,25	750—1000

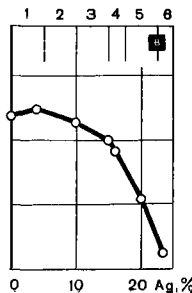
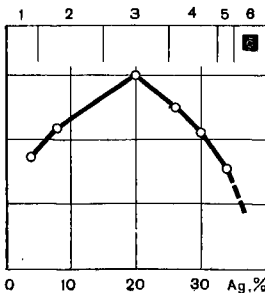
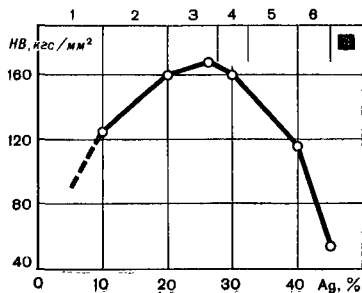
составляющей *зол* теплоэлектростанций; вид *легкого бетона*. З. обладает мелкопористой структурой (размеры пор 0,3—1 мм), обусловленной зольным заполнителем, крупность которого находится в пределах 0,6—5 мм. Количество воды, характеризующее водовязущим отношением, подбирается так, чтобы при уплотнении бетонная смесь не расслаивалась, а тесто вяжущего обволакивало зерна заполнителя, не заполняя межзеренные пустоты. Уплотняют бетонную смесь вибрацией с пригрузом, равным 20 гс/см², вполне достаточным для создания однородной структуры и придания прочности бетону по всему сечению. Благодаря зольному заполнителю и малой площади теплопроводящих контактов З. обладает пониженным коэфф. *теплопроводности* (0,33—0,35 ккал/м · ч · град) при объемной массе 1600 кг/м³. Предел прочности на сжатие З., полученного при расходе *портландцемента* марки 400 в 250 кг/м³, составляет 75—80 кгс/см², *морозостойкость* более 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. У З. низкая равновесная сорбционная влажность (не более 1—1,5%), к-рая значительно ниже равновесной сорбционной влажности *керамзитобетона*, *шлакопемзобетона* и др. видов легких бетонов. Для приготовления З. применяют смесители принудительного перемешивания. Изделия и конструкции из З. изготавливают по обычным технологическим схемам и режимам, принятым на заводах сборного железобетона. Как и др. бетоны с межзеренной пустотностью, З. не обладает

достаточными защитными свойствами против коррозии *арматурной стали*, поэтому при изготовлении из него железобетонных конструкций арматуру покрывают защитными антикоррозионными составами. З. применяют для изготовления стеновых блоков и панелей, предназначенных для жилых, общественных и промышленных зданий, а также других строительных изделий и конструкций.

Лит.: Чехов А. П., Сергеев А. М. Строительные материалы на местном сырье. Днепропетровск, 1970. А. П. Чехов.

ЗОЛОТА СПЛАВЫ — сплавы на основе *золота*. Известны с глубокой древности. З. с. легируют, повышая их *прочность*, серебром и медью, реже — цинком, кадмием, никелем, палладием и др. металлами. Сплавы, легированные серебром и медью (марок ЗлМ, ЗлСр, ЗлСрМ), сохраняют высокую *коррозионную стойкость* к органическим и неорганическим реагентам, относительно высокую *электропроводность*, отличаются широкой гаммой «золотой» окраски (рис.). Т-ра плавления этих сплавов 960—1060° С, уд. *плотность* 11,5—18,9 г/см³, уд. *электрическое сопротивление* 0,094—0,125 ом · мм²/м. Сплавы золота с серебром мягки, легко поддаются мех. обработке; сплавы с медью обладают большей *упругостью* и *твердостью*. Литейные св-ва сплавов повышают небольшими добавками цинка и кадмия. Увеличение содержания меди (за счет золота)

Зависимость твердости и окраски золота сплавов от содержания серебра. Окраска золота: 1 — красная; 2 — красноватая; 3 — желтая; 4 — светло-желтая; 5 — бледно-желтая; 6 — зелено-желтая; проба золота: а — 370; б — 583; в — 750.



связывает кислотостойкость сплавов, увеличение содержания серебра повышает склонность их к взаимодействию с органическими и серосодержащими реагентами. Сплавы золота с серебром и медью используют в ювелирной и электротехнической пром-сти, для чеканки монет и медалей. В ювелирных изделиях применяют и т. н. «белое золото» (70—80% Au, 0—20% Cu, 0,5—10% Zn, 2—20% Cd, 2—10% Ni, 0,20% Pd) — сплав белого цвета, к-рый легко обрабатывать в холодном состоянии. Наряду со сплавами системы золото — серебро — медь в электротехнической пром-сти и приборостроении для изготовления прецизионных проволочных сопротивлений (резисторов, реохордов, потенциометров) используют спец. З. с., обеспечивающие надежную передачу сигналов, обладающие низким контактным сопротивлением (табл.).

Созданы сплавы, содержащие благородные металлы платиновой группы (платину, родий, палладий), а также железо, цинк и индий. Содержание в них золота и благородных металлов 70—90%. Эти сплавы отличаются стойкостью к истиранию, хорошо лются, легко поддаются мех. обработке и сплавляются с фарфором. Их применяют в зубопротезном деле (см. *Зубопротезные сплавы*). З. с. выпускают по ГОСТу 6835—56.

Лит.: Головин В. А., Ульянова Э. Х. Свойства благородных металлов и сплавов (Справочник). М., 1964; Благородные металлы и их применение. Свердловск, 1971; Металловедение платиновых металлов. М., 1975. В. П. Полякова.

Свойства золота сплавов

Марка сплава	C_H , кгс/мм ²	σ , %	ρ , ом · мм ² /м
ЗлМ800	55	22	0,041—0,137
ЗлСрМ500-200	77—64	10—13	0,126
ЗлХ2,8	57—50	20—28	0,51—0,53
ЗлХ0,5	56—50	20—28	0,23—0,26
ЗлПл10	48	25—28	0,36
ЗлН5	43—45	21—24	0,18
ЗлПдТ1	88	11	2,0
ЗлПдВн	76—129	2—45	1,73—1,52
ЗлПдЖ	—	—	1,91—2,3

ЗОЛОТО (Aurum), Au — хим. элемент I группы периодической системы элементов; ат. н. 79, ат. м. 196,9665. Мягкий желтый металл. В соединениях проявляет степень окисления +3, известны соединения со степенями окисления +1 и +2. Природное З. состоит из стабильного изотопа ¹⁹⁷Au. Получены 13 радиоактивных изотопов с массовыми числами 192—196, 198—206 и периодами полураспада от нескольких секунд до 15,8 лет. Добыча З. и изготовление из него разных предметов начались за 6—7 тыс. лет до н. э., металлургия З. получила развитие за 3 тыс. лет до н. э. Содержание З. в земной коре $5 \cdot 10^{-8}$ %. В природе З. находится в основном в свободном состоянии (см. *Золото самородное*) и редко образует минералы (напр., петцит, калаверит, кренерит) с теллуrom, селеном, сурьмой и висмутом; содержится также в воде рек и океанов и в растениях. В водах Мирового океана его содержание составляет 4—10 мг/т, повышаясь в отдельных местах (в Карибском море) до 15—18 мг/т. Общее количество З. в морской воде оценивается от 5—6 до 10—20 млн. т. Кристаллическая решетка З. — гранецентрированная кубическая с периодом $a = 4,704 \text{ \AA}$; плотность (т-ра 20° С) 19,32 г/см³; $t_{пл}$ 1063° С; $t_{кип}$ 2677° С; температурный коэфф. линейного расширения (т-ра 0—100° С) $14,2 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; удельная теплоемкость (т-ра 0—100° С) 0,0316 кал/г · град; удельная теплопроводность $0,744 \text{ кал/см} \times \text{сек} \cdot \text{град}$; удельное электрическое сопротивление (т-ра 20° С) $2,25 \cdot 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}$; температурный коэфф. электр. сопротивления (т-ра 0—100° С) $0,00396 \text{ град}^{-1}$. Модуль норм. упругости 7900 кгс/мм²; у отожженного З. предел прочности на растяжение 10—14 кгс/мм²; относительное удлинение 30—50%; сужение площади поперечного сечения 90%. З. отличается малой твердостью ($HV = 13,6—19,0$), большой ковкостью (пластичностью) и тягучестью. Хорошо проводит тепло и электричество, стойко к внешней

среде и хим. воздействию. С металлами (кроме галогенов) не взаимодействует. С галогенами образует галогениды, напр. AuCl_3 . Не растворяется в к-тах и щелочах, хорошо растворимо в смеси соляной и азотной к-т (т. н. «царской водке»), образуя золотохлористоводородную к-ту $\text{H}[\text{AuCl}_4]$, а также в растворах цианидов (натрия, калия) при доступе кислорода или др. окислителей и в хлорной воде. Соединения З. нестойки и легко восстанавливаются до металла. Для З. характерна способность к комплексообразованию. Из неорганических соединений известны: закись Au_2O — серо-фиолетовые кристаллы, растворимые в соляной к-те; гидрат закиси AuOH — фиолетовый порошок; окись Au_2O_3 — бурно-черный порошок, растворимый в соляной к-те; гидрат окиси $\text{Au}(\text{OH})_3$ — черно-бурый порошок, растворимый в соляной к-те. В пром. масштабе З. получают при переработке руд и россыпей. Содержание его в рудах, подвергаемых промышленной переработке, в зависимости от типа месторождений, способа разработки и географо-экономического положения, составляет от одного-двух до десятков грамм на тонну, а в россыпных месторождениях — от 80—100 мг до нескольких грамм на кубометр. З. извлекают из руд, прибегая к цианированию золото-содержащей породы (после дробления, размола и первичного обогащения). Растворенное З. осаждают металлическим цинком, а затем, после плавки, рафинируют электролизом в ванне, содержащей солянокислый раствор хлорида AuCl_3 . Чистое З. осаждается на катоде из листового химически чистого З., примеси выпадают в осадок. В рудной практике все шире внедряется метод извлечения З., основанный на сорбции его ионообменными смолами (ионообменный процесс). Из россыпей З. получают наиболее простым и дешевым способом — гравитационным обогащением золотосодержащих песков в водном потоке. З. концентрируется на улавливающих устройствах, а пустая порода, как более легкая, сносится водой. Гра-

витационное обогащение применяется совместно с амальгамацией — процессом, основанным на способности зерен З. легко обволакиваться ртутью и улавливаться ею. З. находит широкое применение в экономике, технике и медицине. В условиях товарного произ-ва оно выполняет функцию всеобщего эквивалента денег. В технике его используют в виде сплавов с др. металлам (см. *Золота сплавы*). Покрытие золотом (см. *Золочение*) применяют в авиационной и космической технике, для изготовления отражателей в аппаратах для сушки инфракрасными лучами, электр. контактов и деталей проводников, а также в радиоаппаратуре и в оборудовании для рентгено- и радиотерапии. В электронике из З., легированного германием, индием, галлием, кремнием, оловом и селеном, изготавливают контакты. Золотоплатиновые детали применяют в произ-ве искусственного шелка для вытягивания нитей. В медицине З. применяют для изготовления некоторых маслоэмульсионных и водорастворимых препаратов. З. и его сплавы широко используют в ювелирном деле и зубо-врачебной практике (см. *Зубопротезные сплавы*).

Лит.: Данилевский В. В. Русское золото. М., 1959; Золотодобывающая промышленность капиталистических стран. М., 1963; Фосс Г. В. Золото. М., 1963; Борисов С. М. Золото в экономике современного капитализма. М., 1968; С мо л и н А. И. Самородное золото Урала. М., 1970. В. Г. Лешков.

ЗОЛОТО САМОРОДНОЕ, Au — минерал класса самородных элементов. Обычно рассматривается как разновидность электрума (Au , Ag). Разности: пор п е ц и т (Au , Pd), к у п р о а у р и т, или а у р и к у п р и т (Au , Cu_2), в и с м у т о а у р и т (Au , Bi), р о д и т (до 43% Rh), и р и д и с т о е з о л о т о, п л а т и н и с т о е з о л о т о и др. Содержит 75—100% Au , а также примеси серебра, меди, железа, теллура, селена, реже — висмута, платины, иридия и родия. Структура координационная, сингония кубическая, вид симметрии гексоктаэдрический. В коренных и россыпных месторождениях содержится в виде комковатых зерен, пластин, листочков, чешуек, проволочных, древовидных, нитевидных или сетчатых образова-

ний. Масса крупных самородков достигает десятков килограммов. Кристаллы редки — октаэдры, ромбододекаэдры, кубы и их комбинации; скелетообразные, ступенчатые и параллельные сростания. Двойники по (111) простые и сложные. Кристаллы обычно искаженные, поверхности граней неровные — с фигурами роста и следами растворения. Очень мелкое, высокодисперсное З. с. содержится в пирите, арсенопирите и др. сульфидах в виде мех. включений. Спайность отсутствует (см. *Спайность минералов*). *Плотность* 15,6—18,3 г/см³. *Твердость* 2—3, ковко и тягуче. Цвет и черта от золотисто-желтого до серебриано-белого (с серебром) и розоватого (с медью), в порошке — бурое. Блеск (см. *Блеск минералов*) сильный металлический. Излом крючковатый (см. *Излом минералов*). В отраженном свете золотисто-желтое, изотропное. Отражательная способность для зеленых лучей — 47, оранжевых — 82,5, красных — 86. Хороший проводник электричества. Т-ра плавления 1062,6° С; температурный коэфф. линейного расширения (т-ра 0—100° С) $0,146 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$. Растворяется в «царской водке», ртути, селенистой к-те. Связано с гидротермальными проявлениями разнообразных формаций. В жильных коренных высоко- и среднетемпературных месторождениях находится в кварцевых жилах в сопровождении пирита, арсенопирита, *галенита, молибденита, вольфрамит, барита, карбонатов, турмалина, серпцита* и др. минералов. Низкотемпературные гидротермальные месторождения связаны с третичными вулканическими породами. З. с. находится в них вместе с пиритом, галенитом, *сфалеритом, халькопиритом, серебром самородным, теллуристыми соединениями золота, кварцем, халцедоном, карбонатами, адуляром* и др. Россыпные месторождения — современные и древние — представлены элювиальными, аллювиальными и морскими россыпями, связанными с разрушением золотоносных жил и пород. Золото широко используется в ювелирном деле и как валютный эквивалент. Значительная часть (20—25%) добываемого З. с. идет на технические нужды. В чис-

том виде и в сплавах с серебром, медью, никелем, платиноидами, оловом, германием и др. элементами, в виде солей и органических соединений используется в электронной, ядерной и космической технике, в нефтеперерабатывающей, хим., стекольной пром-сти, в медицине и фотографии.

Лит.: Минералы. Справочник, т. 1. М., 1960; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Казаков Б. И. Благородные металлы служат человеку. М., 1973. Ю. А. Кузнецов.

ЗОЛОЧЕНИЕ — наведение на поверхность металлических и неметаллических изделий слоя *золота*. Золочением создают декоративные, антикоррозионные, герметизирующие, защитные, оптические, электропроводящие, антифрикционные и многоцелевые покрытия. Золото отличается высокой хим. стойкостью, не тускнеет со временем, и декоративные покрытия из него улучшают внешний вид изделий. Толщина таких покрытий 1 ÷ 3 мкм (см. также *Декоративные покрытия*). Катодные антикоррозионные покрытия из золота довольно дорогостоящи, поскольку их толщина должна быть не менее 30—35 мкм (см. также *Антикоррозионные покрытия*). Герметизирующие и защитные покрытия (толщиной 15—20 мкм) практически непроницаемы для кислорода, водорода, азота, сероводорода, сернистого газа, окислов азота и др. газов при т-ре до 800—900° С, что обеспечивает герметичность (напр., при уплотнении швов) и защиту изделий от взаимодействия с этими газами (см. также *Защитные покрытия*). Оптические покрытия (толщиной обычно около 0,1—0,2 мкм) отличаются значительной стабильностью, высокой (более 90%) отражательной способностью в инфракрасной области спектра и уступают покрытиям из др. металлов лишь в его ближней видимой и ультрафиолетовой частях (см. также *Оптические покрытия*). Электропроводящие покрытия (толщиной 1 ÷ 3 мкм) обеспечивают стабильную и высокую электропроводность поверхности изделий. Антифрикционные покрытия характеризуются низким коэфф. трения (см.

Антифрикционные материалы), их толщина около 15—20 мкм. Многоцелевые покрытия обладают комплексом различных св-в (напр., высокой электропроводностью и значительной коррозионной стойкостью), толщина таких покрытий $\sim 0,01 \div 3,5$ мкм. З. осуществляют способами гальваническим (самый распространенный), вакуумного осаждения, катодного распыления, электроискровым, контактным, контактно-мех., газофазного осаждения и листовым. Гальванический способ заключается в нанесении слоя золота из раствора цианистого (реже — железисто-сперодистого) электролита под действием внешнего источника тока. Адгезия покрытий достигает 140—150 кгс/см², их миним. толщина около 0,1 мкм; св-ва покрытий изменяют, вводя в электролит спец. добавки и регулируя режим процесса. Гальванический способ пригоден для З. изделий из любых металлов и наиболее экономичен в отношении расхода золота. Способ вакуумного осаждения, основанный на термическом испарении и конденсации золота на поверхности в высоком вакууме, обеспечивает З. изделий практически из любых материалов и довольно сложной формы; адгезия покрытий на металле до 400 кгс/см², на стекле до 130 кгс/см², их толщину изменяют в широких пределах. Этот способ получил широкое распространение и успешно конкурирует с гальваническим, поскольку, несмотря на большой расход золота, дает возможность получать покрытия менее пористые и с лучшими оптическими св-вами (см. также *Вакуумные покрытия*). Способ катодного распыления золота с помощью тлеющего разряда или низковольтной дуги сочетает положительные св-ва гальванического осаждения и вакуумного распыления. Он получает все большее распространение, однако трудно применим для З. изделий сложного профиля. Электроискровой способ — импульсный вариант катодного распыления и реализуется, как правило, в миниатюрном или микроминиатюрном исполнении. Контактный способ отличается от

гальваническим тем, что вместо внешнего источника электр. тока используется гальваническая пара из золота (или золотосодержащего сплава) и другого, более электроотрицательного металла. Качество получаемых покрытий, как правило, невысокое. Контактно-механическим способом золото втирают в поверхностные слои (при локально повышающейся вследствие трения т-ре). Перспективен способ газофазного осаждения, основанный на термическом разложении летучих соединений золота. Он сочетает достоинства гальванического, вакуумного и катодного способов; покрытия получаются с совершенной структурой и максимальной (что недостижимо при др. способах) адгезией (см. также *Газофазные покрытия*). Листовой способ заключается в наклеивании на поверхность изделия тончайших лепестков золота. З. применяют в ювелирном и часовом производстве, для покрытий аналитических разновесов, calorиметрических бомб и др. изделий, находящихся под воздействием агрессивных сред и повышенных т-р (обычно гальваническим способом), в полупроводниковой технике, при произ-ве электронных вычислительных устройств и деталей к ним (вакуумным осаждением или катодным распылением), для нанесения надписей и рисунков на керамику и стекло (контактно-мех. способом), нанесения слоя золота на острия, контакты и острые кромки электро- и радиотехнических изделий (электроискровым способом), в прикладном искусстве (листовым способом).

Лит.: Темкина Б. Я. Прогрессивная технология нанесения гальванических и химических покрытий. М., 1962; Латашев В. И., Ганай Г. Н., Денисов А. Д. Современная технология нанесения металлических покрытий химическим способом. Барнаул, 1965; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974; Эспе В. Технология электровакуумных материалов, т. 1. Пер. с нем. М.—Л., 1962; Физика тонких пленок, т. 3. Пер. с англ. М., 1968; Холлэнд Л. Нанесение тонких пленок в вакууме. Пер. с англ. М.—Л., 1963.

Г. В. Жуков, В. П. Никитский.

ЗОЛЬНЫЙ ГРАВИЙ — искусственный материал, получаемый гранулированием золы теплоэлектростанций с последующим спеканием и вспучиванием гранул. В СССР пром.

произ-во З. г. освоено 1965. З. г. состоит из зерен округлой формы таких размеров, к-рые позволяют получать все необходимые фракции пористого *заполнителя* для бетона: до 1,25 мм; от 1,25 до 5; от 5 до 10; от 10 до 20 и от 20 до 40 мм. Зерна З. г. имеют слегка оплавленную поверхность; *водопоглощение* З. г. 7—12%. Объемная масса и прочность на сжатие З. г. зависят от вида топлива, из к-рого получают золу: зола из каменного угля обеспечивает объемную массу 500—800 кг/м³ и прочность 37—400 кгс/см², из антрацитового штыба — соответственно 400—800 кг/м³ и 30—175 кгс/см², из бурого угля — 400—700 кг/м³ и 23—75 кгс/см², из горючих сланцев — 500—700 кг/м³ и 25—106 кгс/см². Для изготовления З. г. золошлаковую смесь отбирают из отвала гидрозолоудаления ТЭС и в мокром виде подают в ящичный подаватель, а из него — в сушильный барабан, где она подсушивается до влажности 5—10% отходящими от вращающейся печи горячими газами. Затем высушенную золошлаковую смесь транспортируют в шаровую мельницу, где измельчают до нужной дисперсности (2,5—3,1 тыс. г/см²). После этого смесь поступает в тарельчатый гранулятор, в к-ром непрерывно смачивается водным раствором сульфитно-дрожжевой бражки и закатывается в гранулы. Размеры гранул, в к-рые агрегируются смоченные частицы во время перемещения во вращающейся тарелке, зависят от угла наклона гранулятора и скорости вращения. Для большего упрочнения гранулы пропускают через сушильный барабан, откуда они поступают в прямоточную вращающуюся печь, где спекаются и вспучиваются при т-ре 1150—1200° С. Затем материал охлаждают до т-ры 50—100° С, сортируют на фракции и транспортируют на склад готовой продукции. Наличие несгоревших частиц топлива отрицательно влияет на обжиг и вспучивание З. г., вследствие чего исходное сырье иногда предварительно прокаливают. На основе З. г. получают *легкие бетоны* марок 50—300 объемной массой соответственно от 900 до 1550 кг/м³ и *морозостойкостью* более 25 циклов за-

мораживания и оттаивания. На З. г. действуют РТУ 5012—65.

Лит.: Иванов И. А. Легкие бетоны на основе зол электростанций. М., 1972.
А. П. Чехов.

ЗУБОПРОТЕЗНЫЕ СПЛАВЫ — сплавы зубопротезной техники, состоящие из металлов или из металлов и неметаллов. Металлы для зубного протезирования применяли еще в Древнем Риме. З. с. подразделяют на конструкционные, вспомогательные и сплавы-припой. К *зубопротезным конструкционным сплавам* относятся *золота сплавы*, *нержавеющие хромоникелевые* и *хромокобальтовые сплавы* (табл. 1 с. 468). Они обладают высокой вязкостью и *жидкотекучестью*, умеренной *твердостью* и *упругостью* (табл. 2 с. 468), не оказывают токсического действия на организм. Такие сплавы получают плавлением в высокочастотных установках, в пламени вольтовой дуги, в кислородно-ацетиленовом пламени, криптоловых печах, с помощью центростремительного литья, вакуумного присоса и др. Затем сплавы подвергают ковке, протяжке и прокатке на необходимые профили. В качестве *зубопротезных вспомогательных сплавов* используют некоторые марки *алюминиевых бронз*, *дуралюмин*, *латунь*, *магналии*, *нейзильбер* и *легкоплавкие сплавы*. Они легкоплавки (*у сплавов на основе висмута* $t_{пл} < 100^\circ \text{C}$), отличаются незначительной твердостью, обеспечивающей необходимую стойкость штампа в процессе штампования, миним. *усадкой* при охлаждении. *Зубопротезные сплавы-припой* в зависимости от прочности и т-ры плавления подразделяют на мягкие и твердые. Мягкие припой представляют собой эвтектические сплавы олова и свинца, применяемые гл. обр. для «холодной» пайки меди и латуни в изделиях-моделях. Твердые припой подразделяют на припой для соединения зубопротезных деталей из *лигатурного золота* (напр., припой, состоящий из 58% Au, 10,4% Ag, 17,6% Cu, 2,5% Zn и 11,5% Cd) и припой для соединения

зубопротезных деталей из нержавеющей сталей (например, серебряный припой из 63% Ag, 23% Cu и 10% Zn). Для соединения зубопротезных деталей из сплавов золота пайкой применяют различные флюсы. Эффективен флюс, состоящий из

чистью, узким интервалом т-ры плавления. Конструкционные З. с. применяются для изготовления каркасов мостовидных протезов, для нужд ортодонтии. Всюмогательные сплавы используют для отливки штампов, моделей и форм коронок, кламеров и др. Легкоплавкие сплавы для этих целей выпускают в виде

Т а б л и ц а 1. Химический состав конструкционных зубопротезных сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %											
	Au	Ag	Cu	Co	Cd	Zn	Fe	C	Si	Mn	Cr	Прочие
ЗлСрМ916	91,6	4,2	4,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ЗлСрМ900	90,0	4,0	6,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ЗлСрМ750	75,0	5—8,0	9—14,2	—	0—5,0	0—0,8	—	—	—	—	—	0—8,0 Pt
ЗлСрМ583	58,3	13,7— 19,0	18,5— 28,0	—	0—2,5	0—1,7	—	—	—	—	—	—
1Х18Н9Т	—	—	—	—	—	—	Основа	0,14	0,8	0,8	17—19	8—11 Ni 0,8—1,0 Ti
2Х18Н9	—	—	—	—	—	—	» —	0,2—0,3	2,2— 2,8	0,8	17—19	8—10 Ni
0,2Х18Н9	—	—	—	—	—	—	» —	0,02	0,9	0,8	17—19	8—9,5 Ni
0,4Х18Н9	—	—	—	—	—	—	» —	0,04	0,9	0,8	17—19	8—9,5 Ni
0,6Х18Н9	—	—	—	—	—	—	» —	0,06	0,9	0,8	17—19	8—9,5 Ni
КХС1	—	—	—	62—63	—	—	0,7	0,4	0,3	0,5	30—32	5,1 Мо
КХС2	—	—	—	62—64	—	—	2,5—3,5	—	0,3— 0,5	0,5— 0,7	25—28	5,0 Мо
КХС3	—	—	—	61—66	—	—	—	—	—	—	25—28	4,5— 5,5 Мо

Т а б л и ц а 2. Свойства конструкционных зубопротезных сплавов

Марка сплава	ρ , г/см ³	$t_{пл}$, °C	σ_B , кгс/мм ²	Усадка, %	НВ
ЗлСрМ900	15—18	1000	27	1,25—1,3	140
1Х18Н9Т	7,2—7,8	1400—1450	60	до 2,7	180
КХС1	8,3	1400	89,6	1,8—2	365

порошковой дегидратированной бур (55%), борной кислоты (35%) и окиси кремния (10%). Для пайки нержавеющей стали наиболее эффективен флюс, состоящий из равных частей борной кислоты и фтористого калия. Св-ва сплавов-припоев должны быть почти такими же, как у соединяемых металлов, т-ра плавления — на 50—100° С ниже т-ры плавления этих металлов. Сплавы-припой отличаются высокой коррозионной стойкостью, жидкотекуче-

цилиндрических заготовок массой по 60 г. Сплавы-припой предназначены для соединения деталей зубных протезов. В качестве З. с. используют износостойкие сплавы, содержащие благородные металлы платиновой группы (платину, родий, палладий), а также такие элементы, как железо, индий и цинк.

Лит.: Гернер М. М. [и др.]. Основы материаловедения по стоматологии. М., 1969; Каширин В. Н. Зуботехническое материаловедение. М., 1973.

И. Н. Корбелецкий, И. М. Муха,

ИГОЛЬЧАТЫЙ ТРООСТИТ [по имени франц. химика Л. Ф. Трооста (L. F. Troost)] — то же, что и *бейнит*. **ИЗВЕСТНЯК** — осадочная карбонатная горная порода, состоящая гл. обр. из *кальцита*, очень редко — из *аргонита*. Различают И. органогенные (наиболее распространенные), органогенно-обломочные, пелитоморфные, оолитовые, псевдооолитовые, сгустковые и обломочные. Органогенные И. состоят из остатков известковых раковин и панцирей различных организмов, не претерпевших мех. воздействия. В зависимости от характера остатков и типов организма различают органогенные И. рифовые, ракушечные, детритусовые и водорослевые. К органогенным относится и белый (т. н. пишущий) *мел*. Для органогенно-обломочных И. характерна окатанность органических остатков. Цементирующий кальцит пелитоморфен либо в той или иной степени перекристаллизован. Различают И. хемогенные, органогенные и смешанные. Хемогенные И. представлены пелитоморфными, оолитовыми и псевдооолитовыми разновидностями. Пелитоморфные И. сложены зернами кальцита диаметром 0,005 мм. Оолитовые и псевдооолитовые И. состоят либо из зерен концентрического или радиально-лучистого строения, либо из сферических образований, лишенных таких структур (псевдооолиты). Сгустковые И. в массе своей сложены микрозернистым кальцитом с размером частиц не более 0,02 мм, среди к-рого встречаются сгустки гомогенного пелитоморфного кальцита. Обломочные И. состоят из известняковых обломков и известняковых организмов различной степени окатанности. Примеси представлены некоторыми магnezияльными карбонатами, кремнеземом, *глаукоцитом*, *гипсом*, сидеритом, сульфидами и окислами железа, фосфатами, глинистыми минералами и органическим углистым и битуминозным веществом. Из аксессуарных ми-

нералов встречаются *барит*, *целестин*, *флюорит*. И. могут содержать примеси обломочных частиц. Ср. из 345 анализов хим. состав И. (%): SiO_2 — 5,19; TiO_2 — 0,06; Al_2O_3 — 0,81; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ — 0,54; MnO — 0,05; CaO — 42,61; MgO — 7,90; K_2O — 0,33; Na_2O — 0,05; H_2O — 0,21; H_2O^+ — 0,56; CO_2 — 41,58; P_2O_5 — 0,04; S — 0,09; SO_3 — 0,05; Cl — 0,02. Текстуры И. — слоистые (тонко- и толстослоистые), пятнистые, комковатые, рифовые, подводнооползневые, осадочного будинажа (развальцевания), фунтиковые, стилитовые и массивные. Структуры И. — органогенные (зоогенные, фитогенные и детритовые), органогенно-обломочные, обломочные, кристаллически-зернистые, оолитовые, псевдооолитовые, инкрустационные и кристификационные. Встречаются разновидности И. плотные и пористые, светлые и темные. Плотность И. 2,70—2,74 г/см³; объемная масса — 1,53—3,0 г/см³; пористость 0—35%; теплоемкость — 2,24 кал/г · град; коэфф. теплопроводности 5,2—7,3 × 10⁻³ кал/см · сек · град. И. составляют около 19—22% всей массы осадочных пород. Они известны в отложениях от докембрия до четвертичного периода. Наиболее интенсивное образование И. происходило в силурийский, каменноугольный, юрский и верхнемеловой периоды. И. — широко используемый материал. В металлургии его применяют в качестве *флюса*, в цементной промышленности — для произ-ва *портланд-цемента*, в хим. промышленности — в производстве соды, карбида и цианамиды кальция, едкого натра и др., в стекольной промышленности — для повышения хим. стойкости стекла. И., разрабатываемый как каменный строительный и дорожный материал, должен обладать достаточной мех. прочностью и стойкостью против выветривания. Характеристика И. для жилищно-гражданского строительства: объемная масса 1,2—1,8 г/см³;

водопоглощение 10—17%; пористость 25—40%; предел прочности на сжатие 7—25 кгс/см², в более плотных разностях — от 50 до 100 кгс/см². И. прочностью 150—250 кгс/см² используют как облицовочный камень. Щебень из прочных И. используют при изготовлении бетона и в качестве железнодорожного балласта. И. — основное сырье для произ-ва негашеной извести; И. литографский (литографский камень) применяют в полиграфической пром-сти.

Лит.: Швецов М. С. Петрография осадочных пород. М.—Л., 1948; Справочное руководство по петрографии осадочных пород, т. 2. Л., 1958; Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М., 1974; Рухин Л. Б. Основы литологии. Л., 1969. И. М. Афанасьева.

ИЗВЕСТЬ — вяжущий материал, получаемый обжигом и последующей переработкой кальцево-магниевого карбонатных пород — мела, известняков, доломитов, доломитизированных известняков и пр. И. — один из самых древних вяжущих материалов, использовавшийся еще за 3000 лет до н. э. Применение И. в строительстве основано на ее способности твердеть, превращаясь в прочное камневидное тело. В зависимости от вида И. и условий твердения различают твердение карбонатное, гидратное и гидросиликатное. В зависимости от хим. состава и последующей обработки И. подразделяют на негашеную, содержащую преим. окись кальция, и гашеную, содержащую гидрат окиси кальция. Наиболее распространена строительная И., получаемая обжигом при т-ре ниже т-ры спекания (1100—1300° С) известково-магнезиальных карбонатных горных пород. Строительную И. выпускают в комовой или тонкоизмельченном виде. В зависимости от хим. состава и условий твердения ее подразделяют на воздушную, твердеющую в воздушно-сухих условиях, и гидравлическую, к-рая твердеет на воздухе и в воде. Строительная И. воздушная состоит из окиси кальция и магнезия и содержит 4—12% (иногда до 20%) силикатов и алюмоферритов кальция. В зависимости от содержания окиси магнезия различают воздушную И. каль-

циевую, содержащую не более 5% этой окиси, магнезиальную (5—20%) и доломитовую (20—40%). Кроме того, строительную И. воздушную подразделяют на негашеную комовую, негашеную молотую и гидратную (пушонку). И. негашеная комовая, получаемая обжигом кусков сырья разной величины, состоит преим. из окиси кальция. Содержание активных окислов кальция и магнезия: в кальцевой И. — 70—90%, в магнезиальной и доломитовой — 65—85%. И. негашеную молотую получают тонким измельчением комовой И. с минер. добавками или без них. Выпускают также И. молотую карбонатную, представляющую собой порошкообразный материал, получаемый совместным измельчением негашеной И. и карбонатных пород. В И. негашеную молотую можно вводить тонкоизмельченные минер. добавки — доменные и топливные шлаки и золы, вулканические породы, кварцевые пески, трепел и др. Допускается до 5% гипса. И. кальцевая, магнезиальная и доломитовая негашеная молотая с добавками в зависимости от сорта содержит 64—52% активных окислов кальция и магнезия. Негашенные комовую и молотую И. оценивают по содержанию углекислоты СО₂, которое в кальцевой И. составляет 3—8%, в магнезиальной и доломитовой — 5—11%; потери при прокаливании (при т-ре 950—1000° С в течение 30 мин): кальцевой И. — 5—10%, магнезиальной — 7—13%. Тонкость помола негашеной молотой И. должна быть такой, чтобы остаток на сите 02 не превышал 1%, а на сите 008—10%. Процесс твердения негашеной молотой И. осуществляется по гидратному типу в результате взаимодействия И. с водой с образованием гидрата окиси кальция и срастания образующихся субмикроскопических частиц. Известково-кремнеземистые смеси твердеют по гидросиликатному типу при тепло-влажностной обработке в автоклавах при давлении 9—16 ат, что соответствует т-ре 174,5—200° С, с образованием гидросиликатов кальция. И. гидратную (пушонку) в виде высокодисперсного порошка получают гидратацией негашеной И. определенным количеством воды.

состоит она преимущественно из гидрата окиси кальция, а также из гидрата окиси магния и небольшого количества примесей. Св-ва такой И.: содержание активных окислов кальция и магния — 60—67%, влажность — не более 5%, остаток на сите 063 — не более 2%, на сите 008—10%. При обработке негашеной И. избытком воды получают известковое тесто, или известковое молоко. Тесто содержит 50—55% гидратов окиси кальция и магния и 45—50% механически и адсорбционно связанной воды. Твердение растворных и бетонных смесей из гашеной И. осуществляется по карбонатному типу при воздействии на них углекислоты с одновременной кристаллизацией гидрата окиси кальция из насыщенного раствора и образованием карбоната кальция. Гидратацию И. ускоряют добавлением в воду 0,2—1% хлористых солей (хлористого кальция, натрия и др.), а замедляют добавлением сернокислых солей (гипса, сернокислого натрия и др.) и некоторых поверхностно-активных веществ. Воздушную И. подразделяют на быстрогасящуюся (продолжительность гашения не более 8 мин), среднегасящуюся (до 25 мин) и медленногасящуюся (более 25 мин). За скорость гашения принимают время от момента смешивания порошка И. с водой до момента достижения макс. т-ры смеси и начала ее снижения. Производство негашеной И. заключается в термической обработке карбонатного сырья и сопровождается термической диссоциацией карбонатов кальция и магния, рекристаллизацией образующихся окислов, образованием силикатов, алюмосиликатов и ферритов кальция и магния. На диссоциацию карбонатов кальция и магния расходуется тепло: на 1 кг CaCO_3 — 425, 2 ккал, на 1 кг MgCO_3 — 280 ккал. Процесс диссоциации — обратимый, его скорость и направление зависят от т-ры, интенсивности передачи тепла от газов к поверхности материала, парциального давления углекислого газа, скорости диффузии газа в окружающую среду и др. Строительную И. получают обжигом сырья в печах шахтных, вращающихся, циклонно-вихревых, в печах обжига во взвешен-

ном состоянии, в кипящем слое, на спекательных решетках и т. д. Производительность печей: шахтных — до 600 т в сутки, вращающихся — до 1000, кипящего слоя — до 300, вихревого типа — до 150, с вращающейся колосниковой решеткой — до 500 т в сутки. После обжига осуществляют помол или гидратацию И. Помол средне- и сильнообожженной И. ведут в шаровых мельницах, для тонкого измельчения активных мягкообожженных видов И. используют шаровые, валковые, роликовые, бегунковые, маятниковые и др. мельницы. Гашение И. в пушонку осуществляют в известегасильных агрегатах — гидрататорах периодического и непрерывного действия. Этот процесс сопровождается выделением 277 ккал на 1 кг окиси кальция. И. строительную воздушную применяют в виде растворов для наземной кирпичной и каменной кладки, в штукатурных работах, для изготовления бетонов низких марок, плотных и ячеистых силикатных изделий (силикатного кирпича, блоков, панелей и др.), для получения смешанных вяжущих, как добавки для получения спец. вяжущих. И. негашеную используют в металлургической пром-сти, в хим. пром-сти при произ-ве соды, бертолетовой соли, каучука, в сельском хозяйстве для нейтрализации кислых почв и пр. Доломитовую И. применяют для полирования шариковых подшипников. Известковое молоко используют в сахарной и целлюлозно-бумажной пром-сти. Строительная гидравлическая И. — медленно схватывающееся вещество, порошкообразный продукт тонкого помола обожженных карбонатных пород, содержащих 6—20% глинистых примесей. По содержанию свободных окислов кальция и магния И. строительную гидравлическую подразделяют на слабогидравлическую (15—60%) и сильногидравлическую (1—15%). Св-ва И. строительной гидравлической: тонкость помола — остаток на сите 02—1%, на сите 008—10%; содержание CO_2 в слабогидравлической И. — 7%, в сильногидравлической — 5%. Прочность на сжатие

через 28 суток комбинированного хранения образцов из слабогидравлической И. — не менее 20 кгс/см², из сильногидравлической — не менее 50 кгс/см². Гидравлическую И. применяют для кладки фундаментов и подземных сооружений. Св-ва строительной И. регламентируются ГОСТом 9179—70. Св-ва карбонатных пород для произ-ва строительной И. регламентируются ГОСТом 5331—63.

Лит.: Бутт Ю. М. [и др.]. Технология вяжущих веществ. М., 1965; Волженский А. В., Буров Ю. С., Колосовиков В. С. Минеральные вяжущие вещества. М., 1973; Монастырев А. В. Производство извести. М., 1975; Пащенко А. А., Сербин В. П., Старчевская Е. А. Вяжущие материалы. К., 1975.

Н. В. Алексенко.

ИЗЛОМ МЕТАЛЛА — поверхность места разрушения металла. Вид излома в значительной степени определяется структурой и свойствами металла (см. *Дефекты металлов, Макроструктура металла, Микроструктура металла*), зависит от условия нагружения (скорости приложения нагрузки, вида напряженного состояния и т-ры) и позволяет судить о характере разрушения. Различают изломы вязкие (аморфные, волокнистые) и хрупкие (кристаллические). Вязкие волокнистые изломы свидетельствуют о значительной пластической деформации перед разрушением. К вязким иногда относят слоистый, или шиферный излом, возникающий вследствие раскатки ликвационно неоднородных *дедритов* слитка и содержащихся в стали *неметаллических включений*. Частичное ослабление такой слоистости достигается гомогенизирующим *отжигом* (см. *Гомогенизация*). Хрупкие изломы — результат хрупкого, без заметной макроскопической пластической деформации разрушения. В зависимости от того, проходит *трещина* разрушения по *границам зерен* или по их телу, такие изломы подразделяют на межкристаллические (интеркристаллические, интергранулярные, межзеренные) и транскристаллические (интракристаллические, интрагранулярные). Разновидностями хрупких являются

камневидный, шестоватый и нафталинистый изломы. Хрупкий излом часто позволяет непосредственно выявить величину зерна *аустенита* при последнем нагреве стали, напр. когда по границам исходных зерен аустенита выделяются неметаллические включения или избыточные фазы, ослабляющие прочность *границ*; когда сталь закалывают на *мартенсит* или *бейнит* (трещина разрушения проходит через объемы, ранее бывшие зернами аустенита, образуя макроскопически плоские сколы по определенным кристаллографическим плоскостям *мартенсита* или *бейнита*); при хрупком разрушении стали с аустенитной структурой. Излом не характеризует величину зерна аустенита в таких случаях: если разрушение вязкое (образуются волокнистый излом), хрупкое или полухрупкое (трещина разрушения проходит через объем зерна, следуя ориентации отдельных перлитных колоний, в стали с перлитной структурой); если неметаллические включения или другая фаза (*сульфиды, цементит*) выделяются по границам аустенитных зерен на одной из предшествующих операций (отливке, прокатке, ковке) и после окончательной *термической обработки*, несмотря на *перекристаллизацию*, сохраняются в том же расположении (излом выявляет границы прежних аустенитных зерен, соответствующих предшествующим операциям обработки), а также если в результате предшествующего высокого нагрева и охлаждения в условиях, приводящих к образованию *мартенсита* или *бейнита*, возникает кристаллографическая упорядоченность структуры в пределах объема каждого аустенитного зерна, не устраняемая новым нагревом до аустенитного состояния (излом также выявляет размеры зерна аустенита, полученного при предшествующем высокому нагреву, а не при окончательной термической обработке). Вид излома позволяет иногда обнаруживать и др. недостатки технологии обработки стали. Так, развитие отпускной *хрупкости* в конструкционных *легированных сталях* сопровождается появлением блестящего межкристаллического излома. Блестящий транскристаллический

изломом в закаленных и отпускаемых сталях этого же класса указывает на недостаточное быстрое охлаждение при *закалке* и связанное с этим частичное или полное превращение аустенита в промежуточной (бейнитной) ступени. Частично или полностью межкристаллический крупнозернистый излом, наблюдающийся иногда (вместо обычного волокнистого излома) в правильно термически обработанной *конструкционной стали* (после *нормализации*, *закалки* и *высокого температурного отпуска*) вследствие ее предварительного сильного перегрева (напр., при горячей мех. обработке), наз. *камневидным*. В таком изломе трещина разрушения проходит по границам объемов, соответствующих крупным зернам аустенита, существовавшим в момент перегрева. В этом случае нарушается корреляция между металлографически выявляемым (мелким) зерном и видом излома. Происхождение *камневидного излома* связывают либо с происходящим при высоких *т-рах* перераспределением между объемом и границами зерен поверхностно-активных примесей, либо с выделением из аустенита при охлаждении после перегрева неметаллических примесей (сульфидов, *нитридов*), что обуславливается изменением их растворимости при понижении *т-ры*. *Камневидный излом*, связанный с явлениями, происходящими на границах зерен аустенита при высоких *т-рах*, не тождествен межкристаллическому излому, наблюдающемуся иногда после *закалки* и *отпуска* предварительно перегретой стали, но обусловленному разрывом отпускной хрупкости в сохранившихся границах старых, аустенитных зерен. Основное, важное для практики различие между *камневидным изломом* первого и второго типов состоит в разном отношении к исправлению термической обработкой. Исправление *камневидного излома* первого типа требует длительной обработки при высоких *т-рах* (типа *гомогенизации*). *Камневидный излом* второго типа исправляют кратковременным нагревом стали до *т-ры* 1050—1100° С. Разновидностью *камневидного излома* первого типа является *шестоватый излом*, чаще всего наблюдающийся в прошедших нор-

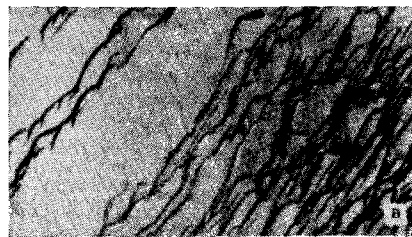
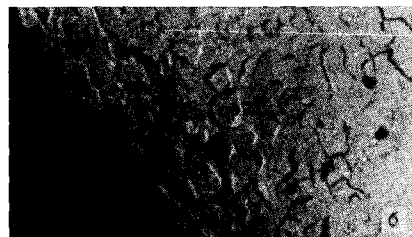
мальную термическую обработку стальных отливках (иногда в поковках). Он проявляется на фоне волокнистого излома в виде матовых участков межзеренного разрушения, соответствующих либо дендритам литой структуры, либо зернам аустенита, возникшим в результате следующего за затвердеванием дельта — гамма-превращения. Шестоватый, как и *камневидный*, излом связывают с выделением на границах первичных (или образовавшихся в результате дельта — гамма-превращения) зерен аустенита неметаллических фаз (сульфидов, нитрида алюминия). При *закалке* стали на структуру мартенсита или бейнита каждое зерно аустенита превращается в кристаллографически упорядоченный комплекс кристалликов *альфа-фазы*, обуславливая тем самым возникновение внутризеренной текстуры. Эта текстура проявляется в транскристаллических изломах по избирательному блеску, характерному для кристаллографически упорядоченных областей, соответствующих исходным крупным зернам аустенита. Такой излом наз. *нафталинистым*. Первичный *нафталинистый излом* отличен от вторичного *нафталинистого излома*, внешне очень похожего на первый, но наблюдающегося после повторной *закалки* перегретой крупнозернистой стали от нормальной *т-ры*. Причина возникновения вторичного *нафталинистого излома* заключается в сохранении внутризеренной текстуры при повторных перекристаллизациях стали. Новые зерна аустенита, образующиеся при повторном нагреве выше *критических точек*, приобретают единообразную кристаллографическую ориентацию в объеме, соответствующих исходным (крупным) аустенитным зернам. Вследствие этого при охлаждении вновь воспроизводится прежняя внутризеренная текстура, к-рая внешне проявляется в изломе как одно крупное зерно. И. м. исследуют с помощью сканирующих микроскопов, методами локального микроанализа, а также макроструктурного анализа и *фрактографического анализа*.

Лит.: Д. К. Чернов и наука о металлах. Л.— М., 1950; Садовский В. Д., Малышев К. А., Сазонов Б. Г. Фазовые и структурные превращения при нагреве стали. М., 1954: Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. 1. М., 1961; Фридман Я. Б. Механические свойства металлов, ч. 1. М., 1974. В. Д. Садовский.

ИЗЛОМ МИНЕРАЛОВ — поверхность места раскола минерала. Обычно не совпадает со структурно обусловленными плоскостями спайности минералов, зависит от хрупкости и др. мех. св-в минерала, его кристаллической структуры, характера срастаний, морфогранулометрии зерен в агрегатах минерала, а также от характера приложения разрушающей нагрузки. При визуальном изучении различают изломы ровный, ступенчатый, веровный, раковистый, мелко раковистый, волокнистый, занозистый, крючковатый и др. Ровный излом, не имеющий общепринятого определения, чаще всего приписывают минералам с отдельностью. Ступенчатый излом наблюдается у минералов с более или менее совершенной и ясной спайностью в нескольких направлениях (полевых шпатов, сфалерита и пр.). Неровный излом характеризуется неровной поверхностью без блестящих спайных участков (напр., у апатита). Раковистый излом характерен для минералов со слабо выраженной спайностью и без спайности (для кварца, опала, халцедона и др.); форма его поверхности напоминает раковину моллюска. Мелко раковистый излом наблюдается у некоторых самородных металлов. Повятый волокнистого, занозистого и крючковатого изломы используют чаще всего для описания агрегатов минералов. Микроскопическое исследование (в отраженном свете и при помощи спец. микроскопов) позволяет не только точнее установить рельеф поверхности и макрогеометрические формы, но и учесть элементы микрогеометрии. С помощью электронно-оптики можно детально изучать изломы различных, особенно высокодисперсных (напр., метамиктных), минералов, широко

используя фрактографический метод, основанный, в частности, на изучении микрорельефа поверхности, запечатленного репликой (рис.). По способу приготовления и составу материалов реплики подразделяют на одноступенчатые (коллоидные, целлюлозные, угольные, бериллиевые, кварцевые) и двухступенчатые (серебряно-коллоидные, целлюлозно-угольные и т. п.). Реплики с изломами иногда не дают полного представления о внутренней структуре метамиктных минералов. Во избежание этого изломы протравливают. Иногда неровности микрорельефа излома настолько малы, что не отражаются обычными угольными репликами. В этом случае, не прибегая к травлению, используют метод декорирования изломов золотом, по которому частицы золота мигрируют по поверхности

Морфология излома черного сфалерита (а), хромита (б) и вольфрамиты (в), $\times 4000$.



объекта и скапливаются у границ выступов. С помощью декорирования обнаруживают сверхмикроскопические неровности рельефа поверхности, дефекты в кристаллах, скульптуры роста на их гранях, микровключения и т. п.

Лит.: Беляева И. Д. Электронномикроскопическое исследование метамиктных минералов. М., 1971; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Юшкин Н. П. Механические свойства минералов. Л., 1971. А. П. Грудев.

ИЗНОСОСТОЙКАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся *износостойкостью*. Используется со второй половины 19 в. Стойкость стали к износу зависит от вида изнашивания и особенностей внешнего воздействия. Износостойкость в условиях изнашивания того или иного вида определяется в основном хим. составом и структурой стали, состоящей преим. из аустенитомартенситной основы и упрочняющей фазы в виде *карбидов*. *Аустенит* отличается невысокой износостойкостью, склонен к *схватыванию*, однако при изнашивании в условиях ударных нагрузок происходит его *упрочнение*, что резко повышает износостойкость стали. *Мартенсит* характеризуется высокой *твердостью* и *прочностью*. Колличество, форма и размеры упрочняющей фазы зависят от содержания углерода, легирующих элементов и *термической обработки*. Включения этой фазы должны быть когерентно связаны с основой, равномерно распределены по структуре, не образовывать сплошной сетки, приводящей к выкрашиванию участков стали при изнашивании. Структурно свободный *графит* в стали служит молекулярной смазкой, повышая износостойкость. *Феррит* понижает износостойкость, вследствие чего содержание его в структуре должно быть минимальным. К И. с. относятся многие стали, напр. высокомарганцовистая, графитизированная, подшипниковая (высокоуглеродистая и высокоуглеродистая высокохромистая), а также ледебуритного и перлитного классов. В *высокомарганцовистой* стали $10-14\%$ Mn. В закаленном состоянии она имеет аустенитную структуру и отличается высокой *пластичностью* и вязкостью. Сильно упрочняется при холод-

ном пластическом деформировании, вследствие чего характеризуется высокой износостойкостью в условиях ударно-абразивного изнашивания. В условиях трения скольжения износостойкость стали низкая. Св-ва стали зависят от содержания марганца и углерода ($Mn : C \geq 10$). Если содержание углерода увеличивается (выше 1,5%), повышается износостойкость, но уменьшается *ударная вязкость*. Марганец (выше 9,5—10%) меньше влияет на износостойкость, поэтому сталь легируют титаном (0,1—1,5%), цирконием (0,1—0,2%), хромом (2%), азотом (0,03—0,04%) и ванадием (до 0,7%). Такая сталь отличается хорошей *жидкотекучестью*, повышенной *литейной усадкой* (2—3%), но склонна к образованию горячих трещин, ее трудно обрабатывать резанием. Из высокомарганцовистой стали отливают детали дробильно-размывающего оборудования, шлаковых насосов, драг, экскаваторов, тракторов. В *графитизированной* стали, содержащей свыше 1% C, часть углерода находится в виде графита, получаемого соответствующей термической обработкой. Графит улучшает антифрикционные и износостойкие св-ва. Графитизированная сталь отличается высокой жидкотекучестью, небольшой литейной усадкой (1,5—2,2%), малой склонностью к схватыванию и к образованию горячих и холодных трещин, повышенной износостойкостью в условиях сухого трения. Коэффициент трения этой стали в паре с *углеродистой сталью* в условиях смазки при давлении 25 кгс/см² составляет 0,03—0,054. Сталь удовлетворительно прокатывается и куется, если графита содержится не более 0,4—0,5%. Спец. св-ва и стойкость изделий повышается *легированием* стали (напр., ванадием). Из закаленной стали изготавливают штампы холодной штамповки, била и бронеплиты угольных мельниц, детали дробеструйных аппаратов. Стойкая сталь заменяет бронзу при производстве вкладышей подшипников скольжения (см. также *Графитизированная сталь*). Под-

шипникова сталь отличается высокими износостойкостью, сопротивлением пластическому деформированию и контактной выносливостью. Износостойкостью высокоуглеродистой подшипниковой стали увеличивается с повышением твердости. Высокой износостойкостью характеризуется сталь с исходной структурой мелкозернистого (более двух—четырёх баллов) *перлита*. В горячем состоянии такая сталь легко куется. В отожженном состоянии хорошо обрабатывается режущим инструментом. Высокоуглеродистая высокохромистая подшипниковая сталь обладает удовлетворительной износостойкостью в условиях трения скольжения и *коррозионной стойкостью*. Склонна к образованию трещин при быстром охлаждении. Если скорости скольжения и давления велики, растрескивается поверхностный слой. Оптимальная *т-ра закалки* 1040—1060° С. Износостойкость и твердость стали зависят от количества остаточного аустенита в структуре, регулируемого термообработкой и обработкой холодом (см. *Холодом обработка металлов*). Сталь легируют молибденом и ванадием. Износостойкость повышают *модифицированием* редкоземельными элементами. Подшипниковую сталь используют для изготовления шарико- и роликоподшипников (см. также *Подшипниковая сталь*). Сталь *ледобуритного* класса в закаленном состоянии отличается высокой износостойкостью. Структура стали состоит из мартенсита и карбидов хрома (Cr, Fe)₇C₃. Из стали ледобуритного класса изготавливают износостойкие штампы холодной формовки, волочильные доски, протяжки калибров, сверла. Сталь *перлитного* класса подвергают *нормализации* (иногда с высокотемпературным *отпуском*) для получения наиболее износостойкой структуры — пластинчатого перлита. Износостойкостью такой стали в условиях абразивного изнашивания выше, чем высокомарганцевистой стали. Из стали перлитного класса изготавливают рельсы, колеса, бан-

дажи, дробильные валки, траки. Лит.: *Металловедение и термическая обработка стали*. Справочник, т. 2. М., 1962; Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., 1975; *Материалы в машиностроении*. Справочник, т. 3. М., 1968; Богачев И. Н., Егולהв В. Ф. Структура и свойства железомарганцевых сплавов. М., 1973. Б. А. Гириевский.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, отличающиеся *износостойкостью*. Создание И. м. вызвано потребностью в инструментальных материалах, применяемых в технологии машиностроения, поскользку эксплуатационные свойства режущего, волочильного, штампового и бурового инструмента определяются, прежде всего, износостойкостью материалов, используемых для этой цели. До начала 20 в. для изготовления инструмента использовали *углеродистые стали*, а с начала 20 в. вслед за *быстрорежущей сталью* в качестве И. м. стали применять наплавочные твердые сплавы (*стеллиты*), содержащие карбиды хрома и вольфрама (см. *Наплавочные материалы*). В 20-х гг. 20 в. были созданы спеченные твердые сплавы (см. *Спеченные материалы*) на основе карбида вольфрама, а в 30-х гг. — сплавы на основе сложного карбида титана — вольфрама (с 60-х гг. с добавкой карбида тантала) с металлической связкой из кобальта. Эти сплавы (отечественные марки типа ВК, ТК и ТТК) значительно превосходят по эксплуатационным свойствам ранее применяемые И. м. В миниатюрных узлах трения, для которых характерны высокие контактные давления, в качестве И. м. используют *алмаз, рубин и сапфир* (часовые камни). Требование высокой износостойкости позволяет определить комплекс свойств И. м.: высокий модуль *упругости* (упругая жесткость), высокая *твердость*, высокие прочностные свойства — предел *текучести*, пределы *прочности* на растяжение, сжатие и изгиб, определяющие стабильность формы и заданные размеры при эксплуатации, достаточная *ударная вязкость* и *теплопроводность*, низкий коэффициент внешнего трения, стойкость против окисления и пр. Исходя из этих требований, в качестве И. м. или их основы используют особо твердые

материалы: алмаз, кубический и метаметаллический нитрид бора, окись алюминия (рубин, сапфир), металлоподобные соединения и неметаллические тугоплавкие соединения (карбиды, бориды, нитриды переходных металлов и карбиды кремния и бора) (см. также *Сверхтвердые материалы*). Наряду с высокой твердостью эти материалы, как правило, имеют высокую *хрупкость*. Снижение хрупкости и повышение пластичных и прочностных свойств достигается связыванием зерен тугоплавких соединений с помощью вязкой металлической связи. Изготавливают И. м. методами порошковой металлургии либо сочетанием методов порошковой металлургии и последующей наплавки. Для получения *износостойких покрытий* используют методы химико-термической обработки, в основе к-рых лежит принцип насыщения поверхности неметаллическими элементами типа углерода, бора, азота и кремния, образующими с металлами твердые тугоплавкие фазы (карбиды, бориды, нитриды, силициды), а также принципы детонационного напыления, осаждения из газовой фазы и др. Разработаны и осваиваются безвольфрамовые спеченные *твердые сплавы* на основе карбидов титана, хрома и карбонитрида титана с никелевой и никельмолибденовой связками, которые износостойкостью и др. свойствами практически не уступают стандартным твердым сплавам (табл.). Свойства твердых сплавов

зависят от соотношения содержания карбидной составляющей и металла-связки. С увеличением содержания металла-связки снижаются твердость и упругость, повышаются прочность и пластичность, у карбидовольфрамовых и карбидотитановольфрамовых сплавов снижается плотность и повышается коэфф. *термического расширения*. Плотность карбидотитановых и карбидонитридотитановых сплавов увеличивается с повышением содержания металла-связки. Прочностные свойства повышаются при уменьшении среднего размера зерна карбидной составляющей. Карбидотитановые и карбидохромовые сплавы отличаются повышенной стойкостью против коррозии, а также *жаростойкостью*. Эти сплавы применяют для изготовления фильер, матриц и оправок для волочения черных и особенно цветных металлов, прессформ для сыпучих, в т. ч. *абразивных материалов*, калибровального и измерительного инструмента, ножей для резания металлической фольги, бумаги и нагретого стекла, опорных призм, сопел для распыления механических смесей и др. износостойких деталей. Термины и определения, касающиеся И. м., стандартизованы ГОСТами 16429—70 и 17359—71. См. также *Износостойкая сталь*, *Износостойкий чугун*.

Химический состав и свойства износостойких материалов

Материал	Содержание компонентов, %	ρ , г/см ³	HRA	$\sigma_{\text{и}}$, кгс/мм ²	$\sigma_{\text{сж}}$, кгс/мм ²	$E \cdot 10^{-3}$, кгс/мм ²	$\alpha \cdot 10^{-6}$, град ⁻¹
Карбидовольфрамовый	70—98 WC, 2—30 Co	12,5—15,3	84—91	100—270	300—600	45—68	4—6
Карбидотитановольфрамовый	6—24 TiC, 56—87 WC, 5—18 Co	8,7—14,6	87—93	80—180	410—560	42—63	5—7
Карбидотитановый	70—80 TiC, 20—40 Ni (Ni—Mo)	5,5—5,9	89—92	90—140	340—400	39—42	7,1—8,2
Карбидонитридотитановый	25—45 TiC, 25—45 TiN, 30—35 Ni—Mo	5,8—5,9	87—88	150—175	330—335	35—40	8,5—8,7
Карбидохромовый	60—90 Cr ₃ C ₂ , 10—40 Ni	6,6—7,0	80—90	40—70	280—350	29—35	11,1—13,3

Лит.: Третьяков В. И. Металло-керамические твердые сплавы. М., 1962; Прогрессивная технология изготовления инструмента и организации инструментального производства. К., 1973; Риффер Р., Бенезовский Ф. Твердые сплавы. Пер. с нем. М., 1971.

М. С. Ковальченко.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ — металлические и неметаллические покрытия, отличающиеся *износостойкостью*. По способу нанесения различают И. п. термодиффузионные, гальванические (электролитические), металлизационные, химические и горячие. Термодиффузионные покрытия образуются вследствие *диффузии* металла из внешней среды в поверхностный слой основного

металла. Процесс осуществляется в порошках, расплавах солей, газовой среде, а также термодиффузионной наплавкой. Гальванические покрытия получают электролизом в растворе или расплаве солей. Для нанесения металлизационных покрытий, образующихся при *схватывании* расплавленных металлических частиц с поверхностью осн. металла, прибегают преим. к электродуговому, плазменному или детонационному способу. Химические покрытия наносят осаждением металла на поверхность изделия. Горячие покрытия получают, погружая изделие в расплавленный металл. Наиболее широко используют термодиффузионные и гальванические покрытия (табл.), к которым относятся

Технологические параметры износостойких покрытий

Процесс	Материал основы	Температура, °C	Выдержка, ч	Плотность тока, а/дм ²	Толщина покрытия, мм	Скорость нанесения покрытия, мм/ч	HV
Термодиффузионные покрытия							
Цементация	Низкоуглеродистая сталь	900—950	8	—	2,0	0,25	58—64
Хромирование	Низкоуглеродистая сталь, сталь 45 и сталь 40X	1050	15	—	0,20	0,01	750—1000
Цинкование	Низкоуглеродистая сталь	350	4	—	0,04	0,01	250
Борирование	Углеродистая сталь	1000	20	—	0,26	0,013	1400—1800
Ванадирование	Сталь 45	1150	2,5	—	0,02	0,01	640—940
Сульфидирование	Быстрорежущая сталь Чугун	560—570 930	5—6	—	0,2—0,3	0,04—0,05	—
Борирование	Низкоуглеродистая сталь	900—1200	5	—	0,07—0,09	0,01	≥1600
Цементация	Низкоуглеродистая сталь	900—970	0,2—1,8	—	1—6	0,2—0,3	58—62
Азотирование	Нержавеющая сталь	560—720	2—10	—	0,2	0,10	900—1000
Хромирование	Углеродистая сталь, чугун	980—1000	0,1	—	1—6	0,2	900—1300
Гальванические покрытия							
Хромирование	Углеродистая сталь	50—60	—	50—55	0,2	0,05	950—1000
Борирование	То же	920—950	—	5—8	—	0,8	—
Боросилирование	»	900	—	20—30	—	0,4	—
Хромирование	»	1050	1	0,3	0,05	0,05	—
Борхроммирование	»	900	—	20—40	0,17	0,03	900—1700

хромирование, борирование, цементация, азотирование и сульфидирование. Твердое хромирование дает возможность значительно повысить износостойкость изделий. Если необходимо уменьшить коэфф. трения, применяют пористое хромирование, при котором предварительно полученное хромовое покрытие подвергают анодному травлению в электролите, а затем шлифованию. Т-ра процесса 50—60° С, плотность тока 40—50 а/дм², продолжительность анодного травления 5—10 мин. При хромировании в поверхностной зоне образуется тонкий (0,02—0,04 мм) карбидный слой (CrFe)₂₃С₆, обуславливающий ее износостойкость (см. также *Хромирование*). Борирование повышает абразивную износостойкость изделий. Глубина борированного слоя обычно не превышает 0,15 мм, твердость (HV) достигает 1400—1550, а микротвердость 1800—2000 кгс/мм². Борирование осуществляют в газовых и жидких средах, в порошкообразных смесях, электролитное борирование — в расплаве буры. Износостойкость борированных слоев на 40—50% выше, чем цементованных. В условиях абразивной эрозии металлов борирование повышает износостойкость изделий из углеродистых сталей в 3—3,5 раза (см. также *Борирование*). Цементация обеспечивает высокую износостойкость вследствие обогащения поверхностного слоя изделия из низкоуглеродистой и легированной стали углеродом до эвтектоидной или заэвтектоидной концентрации. Так, износостойкость стали марок 1Х13 и 1Х17Н2 близка к износостойкости азотированной стали марки Х8ХМЮА (см. также *Цементация*). Азотирование — наиболее эффективный способ повышения износостойкости аустенитных *нержавеющих сталей*. Износостойкость азотированной стали в 1,5—4 раза выше износостойкости закаленных высокоуглеродистых цементованных, цианированных и нитроцементованных сталей. К тому же азотирование повышает сопротивление схватыванию металлов в процессе трения (см. также *Азотирование*). При сульфидировании в твердой среде предусматривается получение

активной серы и диффузия ее в поверхностные слои изделия. В условиях сухого трения износостойкость чугуна, обработанного (т-ра 930° С, продолжительность 5—6 ч) в смеси сернистого железа (94%), хлористого аммония, желтой кровяной соли (3%) и графита (3%), увеличивается в 39 раз по сравнению с износостойкостью несulfидированного чугуна (см. также *Сульфидирование*). Ванадирование и ниобирование придают стали высокую износостойкость, но эти процессы (вследствие высокой стоимости) применяют относительно редко, хотя износостойкость ванадированной стали во много раз больше, чем закаленной стали и стали, подвергнутой диффузионному хромированию. Износостойкость и коэфф. трения чугуна, стали и цветных сплавов улучшают также сурьмированием. В условиях сухого трения сурьмирование почти вдвое повышает износостойкость стали Ст. 45, уменьшая на 40% коэфф. трения в паре с цементованной сталью марки 30ХГТ. Металлизационные покрытия (толщиной не менее 0,5 мм), наносимые напылением, состоят из тонких слоев металла, разделенных окислами и большим количеством пор. При трении со смазкой поры, удерживая масло, улучшают смазывание трущихся поверхностей, обеспечивая высокие антифрикционные св-ва и износостойкость. В условиях сухого трения металлизационные покрытия обладают низкой износостойкостью (см. также *Металлизация*). Электродуговой способ используют для нанесения металлизационных покрытий на изделия, эксплуатируемые в условиях трения скольжения при высоком давлении и небольшой скорости. Плазменное напыление позволяет наносить в виде покрытия любое вещество, плавящееся с образованием жидкой среды и не разлагающееся при перегреве. Этот метод дает возможность наносить износостойкие покрытия составов: 88% Со и 12% WC; 98% Al₂O₃, 0,5% SiO₂ и 1,5% др. оксидов; 60% Al₂O₃ и 40% TiO₂. Для повышения

износостойкости в них вводят различные волокна. При детонационном способе используют энергию взрыва смеси газов, обеспечивающую лучшую прочность сцепления, чем при плазменном напылении (9—12 кгс/мм²). Этим способом создают покрытия из металлических и керамических материалов. К химическим относятся покрытия карбидные (см. *Карбиды*), боридные (см. *Бориды*) и силицидные (см. *Силициды*). Покрытия карбидного типа осаждают на нагретую поверхность из газовой смеси летучих хлоридов, водорода и углерода. Так, карбид титана осаждают из газовой смеси, полученной насыщением водорода сначала толуолом при т-ре — 15° С, а затем парами четыреххлористого титана при т-ре 20° С. Осаждение ведут при т-ре 1300—1700° С. Сталь марки У8, покрытая карбидами титана, обладает износостойкостью в условиях абразивного изнашивания в два раза выше, чем спеченный карбид титана. Осаждение боридных покрытий чаще всего осуществляют восстановлением водородом летучих хлоридов соответствующих металлов и хлоридов или бромидов бора. Силицидные покрытия осаждают из газовой среды, состоящей

из водорода, пролида металла и галогенида кремния (обычно SiCl₄). К горячим относятся покрытия, наносимые, напр., в процессе алитирования, когда изделия погружают в расплавленный алюминий (т-ра 680—800° С), выдерживая в нем в течение 0,5—1 ч. Толщина таких покрытий 0,08—0,15 мм (см. также *Алитирование*). К нанесению И. п. прибегают в машиностроении, авиационной промышленности и др. Лит.: Дубинин Г. Н. Диффузионное хромирование сплавов. М., 1964; Минкевич А. Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. М., 1965; Ляхович Л. С., Воронин Л. Г. Борирование стали. М., 1967; Глухов В. П. Боридные покрытия на железе и сталях. К., 1970.

Б. А. Кириевский.

ИЗНОСОСТОЙКИЙ ЧУГУН — чугун, отличающийся высокой *износостойкостью*. Используется со второй половины 16 в. По виду излома, хим. составу и микроструктуре И. ч. подразделяют на нелегированные, низко-, средне- и высоколегированные серые и высокопрочные чугуны (см. *Серый чугун*, *Высокопрочный чугун* с шаровидным графитом), нелегированные *ковкие чугуны*, нелегированные, низко-, средне- и высоколегированные *белые чугуны*, серые и высокопрочные чугуны с аустенитной (см. *Аустенит*) основой. В зависимости от условий эксплуатации различают чугуны

Химический состав и твердость износостойких чугунов

Чугун	Содержание элементов, %						
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo
Износостойкий при сухом трении марки СЧ32-52	3,0—3,2	1,0—1,3	0,7—1,0	—	—	—	—
Износостойкий при граничном (жидкостном) трении:							
для поршневых колец	3,3—3,4	2,5—2,9	0,5—0,75	0,15	0,2	0,15—0,4	0,1—0,35
для базовых отливок станков	3,3—3,5	1,4—1,7	0,6—0,9	Модифицированный силикокальцием			
Износостойкий при абразивном и гидроабразивном трении:							
белый нелегированный	2,8—3,5	1,0	1,0	—	1,0	—	—
молибденовый	1,7—3,7	0,3—2,6	0,2—1,5	0,5	0,6	0,2—1,5	0,3—12,0
ванадиевый	1,5—4,8	0,8—1,4	0—17,0	0—8,0	7,0	—	7,0

износостойкие при сухом, граничном (жидкостном), абразивном и гидроабразивном трении (табл.). Наличие графита в значительной мере повышает износостойкость чугуна. Однако при высоком давлении на поверхность трения и значительных скоростях скольжения существенное влияние на износостойкость оказывают не только форма, размер и количество графита включений, но и металлическая основа чугуна. Для повышения износостойкости чугуны подвергают закалке и отпуску. Предпочтительной для серых и ковких чугунов в условиях сухого трения является перлитная (см. Перлит в металловедении) или троостомартенситная структура со средними прямыми непересекающимися включениями графита. Осн. легирующими элементами, способствующими повышению износостойкости чугуна, являются хром, никель, медь, титан, ванадий, молибден и вольфрам. Реже используют серу и мышьяк (они понижают прочностные св-ва чугуна). В зависимости от легирующих добавок белые И. ч. подразделяют на чугуны *нихард* с добавками никеля (до 5%), хрома (до 3%) и меди (до 1,5%); высокохромистые чугуны, содержащие 11—35% Cr; молибденовые чугуны, содержащие 0,3—12,0% Mo; ванадиевые чугуны с мартенситной (см.

Мартенсит) и аустенитной основой, содержащие 1—15% V. Высокохромистые, молибденовые и ванадиевые чугуны, у которых содержание легирующих элементов превышает 20%, отличаются, кроме высокой абразивной износостойкости и износостойкости при сухом трении, высокой *коррозионной стойкостью*, а некоторые (особенно с добавками алюминия и титана) и *жаростойкостью*. Поэтому белые легированные чугуны применяют для изготовления изделий, эксплуатируемых при одновременном воздействии абразивных коррозионных сред и высоких (до 700° С) т-р. В условиях сухого трения высокой износостойкостью обладают высокопрочные чугуны, в условиях трения скольжения со смазкой и при граничном трении — *антифрикционные чугуны*. Высокопрочными чугунами, легированными медью (до 5%) и фосфором (1%), заменяют дорогостоящие бронзы, используемые в условиях граничного трения. В условиях абразивного трения применяют белые нелегированные и легированные чугуны, полученные в литом и термообработанном состоянии. Структура белых литых чугунов состоит из перлита, иногда из перлита с небольшим количеством *феррита* и *карбидов*, структура термообработанных белых чугунов — из мартенсита, аустенита и карбидов. Для восстановления изношенных стальных изделий, эксплуатируемых в условиях абразивного трения, на их поверхность наплавляют спец. легированные чугуны. Поршневые кольца двигателей внутреннего сгорания и поршневых компрессоров различного класса изготавливают в осн. из серых чугунов с повышенным содержанием фосфора, обуславливающим равномерное распределение в структуре твердой двойной и тройной *фосфидной эвтектики*. Для повышения износостойкости поршневых колец чугуны легируют хромом, никелем, молибденом, медью, титаном и ванадием (по 0,02—0,3%), а также ниобием и танталом (до 1%). Добавки в серый чугун хрома (21—40%), сурьмы (0,01—0,3%) и

Sb	V	Ti	P	HB
—	—	—	—	187—255
—	До 0,02	0,06—0,25	0,5—0,7	220—240
0,1—0,3	—	—	—	180—240
—	—	—	—	350—580
—	—	—	—	350—700
—	1,0—15,0	3,0	—	300—780

модифицирование силикокальцием (0,3%) повышают износостойкость в условиях граничного трения в 1,5—2 раза. Из серых нелегированных И. ч. изготавливают станины, шестерни, маховики, из серых низколегированных И. ч. — блоки цилиндров автомобильных двигателей, кулачки, диски сцепления, из кованных И. ч. — поршни дизелей, коромысла клапанов, приводы балансира, планетарные передачи грузовых автомобилей и др.

Лит.: Гречин В. П. Износостойкие чугуны и сплавы. М., 1961; Войнов Б. А., Гедберг М. Г. Влияние легирования на износостойкость белых чугунов. В кн.: Металловедение и прочность материалов. Волгоград, 1970; Петриченко А. М. Книга о литье. К., 1972.

Е. А. Марковский.

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ — свойство материала сопротивляться поверхностному разрушению при перемещении по твердому, жидкому или сыпучему телу. Оценивается обычно обратной величиной — интенсивностью изнашивания. Для оценки этой интенсивности используют характеристику линейную $\dot{I}_h = \Delta h / \Delta L = \Delta V / A_f \Delta L$ или энергетическую (применительно к тормозам, сцеплениям и др. подвижным сочленениям, предназначенным для поглощения и передачи энергии) $\dot{I}_W = \Delta V / \Delta W = \dot{I}_h / \tau_a$, где Δh — толщина истертого слоя; ΔL — путь трения; ΔV — объем истертого слоя; A_f — поверхность трения; ΔW —

количество энергии, воспринятой поверхностью трения; τ_a — отношение силы трения к площади контакта. В зависимости от вида материала и условий трения линейная характеристика определяется величиной от 10^{-12} до 10^{-2} , энергетическая характеристика — от $0,12 \cdot 10^{-4}$ до $0,8 \cdot 10^{-7} \frac{\text{см}^3}{\text{кгс} \cdot \text{м}}$. Если два твердых тела перемещаются относительно друг друга, то вследствие шероховатости и волнистости соприкасаются лишь в отдельных местах, размеры к-рых составляют несколько микрон. В микрообъемах скользящих тел возникают значительные напряжения и т-ры, что приводит к протеканию физ., мех. и механико-хим. процессов, к-рые сопровождаются электрокоррозионными явлениями и иногда существенно меняют св-ва тел. Вследствие этого изнашивание рассматривают как процесс, состоящий из трех последовательных стадий: взаимодействия поверхностей, имеющего двойственную молекулярно-мех. природу; изменения поверхностного слоя (вследствие наклепа, отпуска, закалки, образования окисных пленок, карбидов, диффузионного насыщения контактной зоны и др.); разрушения (вследствие накопления в поверхностном слое точечных, линейных и объемных дефектов), происходящего под влиянием циклической знакопеременной нагрузки (сжатия материала перед внедренной неровностью и растяжения после прохождения неровности), воз-

Виды изнашивания и факторы, определяющие износостойкость материала

Изнашивание	h/R	Количество воздействий, необходимых для разрушения	Интенсивность изнашивания \dot{I}_h
Упругое (умеренное)	0,0001 для цветных и 0,01 для черных металлов	$10^5 \div 10^{10}$	$10^{-7} \div 10^{-12}$
Пластическое (сильное)	$0,01 \div 0,1$	$10 \div 10^5$	10^{-6}
Абразивное (микрорезание)	$0,1 \div 0,3$	$1 \div 10$	10^{-2}

Примечание: h — глубина внедрения единичной неровности, моделированной сферическим выступом; R — радиус закругления выступа.

никающей в результате дискретного касания. В окисленном слое изнашивание обуславливается значительной *хрупкостью* окислов, в др. случаях — иными обстоятельствами (напр., распадом и испарением вещества под влиянием высокой т-ры. См. Абляция). В связи с многообразием процессов, протекающих в зоне контакта, И. оценивают лишь для условий, в к-рых применяется материал (давления и степени деформации материала в контакте, т-ры, скорости скольжения, продолжительность контакта с контртелом и промежуточной средой, концентрации избыточной фазы и др.). Различают изнашивание упругое (умеренное), пластическое (сильное) и абразивное (микрорезание), определяемые безразмерным параметром h/R , тесно связанным с количеством воздействий, необходимых для разрушения деформируемого объема (табл.).

При взаимодействии твердых тел осн. ур-ние изнашивания имеет вид

$$i_h = \sqrt{\frac{h}{R}} \cdot \frac{P_a}{P_q m} \cdot \frac{c_y}{n},$$

где P_a — номинальное давление; P_q — фактическое давление; m — отношение площади трения к номинальной площади; c_y — коэфф., зависящий от конфигурации неровностей и равный обычно 0,15—0,2; n — число циклов до образования частицы износа, определяемое ф-лами $n = (\sigma_0/Kf P_q)^t$ при упругом контакте и $n = (\epsilon_0/c_1 f)^t$ при пластическом контакте (здесь σ_0 и ϵ_0 — соответственно экстраполированные напряжение и деформация при однократном нагружении; K — коэфф. приведения напряжения на контакте, равный 3 для хрупких материалов и 5 для пластичных; f — коэфф. трения; $c_1 \approx 0,1 \div 0,01$; t — показатель, определяемый процессами накопления и рассасывания дефектов в поверхностном слое). Первое отношение в осн. ур-нии изнашивания определяет глубину, второе — площадь внедренного при трении объема, третье — количество воздействий, приводящее к отделению этого объема. На И. сильнее всего влияет третье отношение. Зна-

чительно и влияние показателя степени t . Если контакт упругий, И. растет с увеличением модулей *упругости*, относительного удлинения, мех. *прочности*, показателя степени t и с уменьшением коэфф. трения. Если контакт пластический, И. повышается с увеличением *твердости*, относительного удлинения при разрушении и с понижением коэфф. трения. Для пластического контакта $t = 2 \div 4$, для упругого $t \approx 10$. При абразивном изнашивании И. пропорциональна твердости и не зависит от коэфф. трения. И. повышается в результате протекания в контактной зоне процессов, исключаящих накопление дефектов, приводящих к разрушению поверхностей (созданию условий для их быстрого рассасывания). Подобное повышение И. обуславливается обратимыми структурными изменениями или электрохим. и электрокинетическими процессами в контактной зоне. В зависимости от назначения узла трения применяют материалы с различными св-вами. В парах трения обычно используют разноименные материалы. Кроме того, в них эксплуатируют пористые *спеченные материалы*, пропитанные полимерами, в высокотемпературных узлах — спеченные материалы из тугоплавких металлов. Целесообразно применение металлов с гексагональной кристаллической решеткой. В подшипниках скольжения сталь сочетают со сплавами из цветных металлов. Для тяжелонагруженных узлов, зубчатых передач и подшипников качения применяют *легированные стали* с высокой степенью закалки. Чтобы узел трения функционировал нормально, создают условия, локализирующие процессы деформирования в тонком поверхностном слое. С этой целью добиваются, чтобы сдвиговое сопротивление поверхностного слоя было меньше сдвигового сопротивления внутренних слоев; одновременно стремятся повысить усталостную прочность деформируемого слоя. В связи с этим применяемые в парах трения черные металлы обычно подвергают поверхностной обработке (поверхностной закалке с *индукци-*

онным нагревом, высокотемпературной термохим. обработке, химикотермической обработке, термодиффузионному легированию). Используются также защитные покрытия из мягких металлов. И. стали повышается, если в ней нет дефектов плавки или она подвергнута рафинированию. Оценка И. имеет практическое значение только тогда, когда указаны контртело, смазка, условия испытания (давление, т-ра, скорость) и коэфф. взаимного перекрытия. Окончательное суждение о пригодности материала в узле трения делают на основании патурных испытаний.

Лит.: Костецкий Б. И. Сопротивление изнашиванию деталей машин. М.—К., 1959; Хрущов М. М., Бабичев М. А. Исследования изнашивания металлов. М., 1960; Любарский И. М. Повышение износостойчивости тяжело нагруженных шестерен. М., 1965; Старосельский А. А., Гаркунов Д. Н. Долговечность трущихся деталей машин. М., 1967; Крагельский И. Б. Трение и износ. М., 1968; Голего Н. Л., Алябьев А. Я., Шевеля В. В. Фреттинг-коррозия металлов. К., 1974; Трение и износ материалов на основе полимеров. Минск, 1976. И. В. Крагельский.

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (от франц. isolation — разобщение) — материалы для акустической, тепловой и др. видов изоляции. И. м. обладают способностью поглощать энергию звуковых волн, плохой электропроводностью, высокими диэлектрическими св-вами, они непроницаемы для газов и жидкостей, рентгеновского и ядерного излучения. И. м. подразделяют на звукопоглощающие, звукоизоляционные, теплоизоляционные, гидроизоляционные, электроизоляционные и защищающие от рентгеновского и ядерного излучения. Осн. показателями, характеризующими звукопоглощающие материалы, являются величина и частотная характеристика звукопоглощения, измеренная в реверберационной камере. Величина звукопоглощения выражается коэффициентом звукопоглощения — отношением количества поглощенной звуковой энергии к общему количеству падающей на материал энергии звуковых волн в единицу времени. Коэфф. звукопоглощения

обычно указывают в октавных интервалах для частот 125, 250, 500, 1000, 2000 и 4000 гц. Приближенная характеристика звукопоглощающей способности материала дается как среднее арифметическое значение коэфф. звукопоглощения для частот 250, 500, 1000 и 2000 гц. Звукопоглощающими являются, напр., пористые материалы с открытыми порами, допускающими сквозное продувание воздушными потоками. У большинства звукопоглощающих материалов сквозные поры составляют более 60% всего объема. Коэфф. звукопоглощения таких материалов при объемной массе от 50 до 300 кг/м³ составляет 0,6—0,85, а акустических штукатурок с объемной массой 600—800 кг/м³ — в пределах 0,25—0,50 (см. также *Звукопоглощающие материалы*). Осн. характеристикой звукоизоляционных материалов, используемых преим. в качестве прокладок в конструкциях междуэтажных перекрытий зданий с целью повышения изоляции от ударного шума, является динамический модуль упругости. Для них характерно также отсутствие значительных остаточных деформаций от пребывания под нагрузкой с течением времени. У звукоизоляционно-прокладочных материалов динамический модуль упругости не превышает 10,5 при статической нагрузке 500 кгс/см² (см. также *Звукоизоляционные материалы*). Теплоизоляционные материалы характеризуются коэфф. теплопроводности λ и температуропроводности k , связь между к-рыми выражается соотношением $k = \lambda / c \cdot \rho$, где k — коэфф. температуропроводности; λ — коэфф. теплопроводности; c — удельная теплоемкость; ρ — объемная масса. Коэфф. теплопроводности — осн. характеристика теплозащитных св-в материала в условиях стационарного или близкого к нему режима теплообмена. Чем меньше значение этого коэфф., тем выше теплозащитная способность материала. Величина коэфф. теплопроводности зависит от структуры, влажности, т-ры и природы материала. Теплопроводность материала тем меньше, чем меньше его объемная масса (т. е. чем выше пористость). При одинаковой пористости меньшей теплопро-

подностью, отличающиеся материалами с более мелкими пора́ми. Увлажнение материала повышает его теплопроводность, причем наибольший прирост теплопроводности дает начальное увлажнение. С повышением влажности прирост теплопроводности уменьшается. С повышением т-ры теплопроводность теплоизоляционных материалов возрастает. Коэфф. температуропроводности характеризует теплозащитную способность материала в условиях нестационарного режима теплообмена. Этот коэфф. зависит от объемной массы материала, влажности и т-ры, возрастая с уменьшением объемной массы и повышением т-ры. По мере увеличения влажности материала коэфф. температуропроводности сначала возрастает, а затем, перейдя через максимум, уменьшается (см. также *Теплоизоляционные материалы*). Гидроизоляционные материалы характеризуются паро-, водопроницаемостью и водостойкостью. Эффективные паро- и гидроизоляционные материалы имеют коэфф. паропроницаемости порядка $1 \cdot 10^{-5}$ г/м · ч · мм рт. ст. (см. также *Гидроизоляционные материалы*). Электроизоляционные материалы характеризуются *электрической прочностью*, *электрическим сопротивлением* и теплопроводностью. К электроизоляционным относятся различные слюдяные материалы, фарфор, стекло, мрамор, асбестоцемент (см. также *Электроизоляционные материалы*). Требования к И. м. для ядерно-лучевой защиты зависят от вида излучения. Для защиты от рентгеновского излучения используют свинец и баритобетон. Для биологической защиты от гамма-лучей и нейтронного излучения ядерных реакторов применяют особо *тяжелый бетон* на спец. заполнителях, содержащий водород для защиты от нейтронов и плотные тяжелые заполнители — плотный, магнетит, барит, металлический скрап. Предел прочности на сжатие такого бетона достигает 450 кгс/см^2 . Показателем защитной способности бетона является объемная масса ($3,5\text{--}4,0 \text{ т/м}^3$), к-рая должна быть выдержана с точностью $\pm 5\%$. Для защиты глаз от гамма-излучения (в процессе визуального наблюдения) использу-

ют стекло, содержащее фосфат вольфрама, плотностью около $19,1 \text{ г/см}^3$ при толщине экрана более 1 м. Для защиты от быстрых нейтронов применяют также *тяжелую воду* и *графит*, для защиты от медленных нейтронов — кадмий, кобальт и марганец (см. также *Поглощающие излучение материалы*). И. м. широко используют для звукоизоляции помещений; снижения уровня шума в помещениях, требующих создания спец. акустических условий; паро- и гидроизоляции зданий и сооружений; защиты строительных конструкций и пром. оборудования от контакта с коррозионными агентами; для теплоизоляции помещений, энергетического и технологического оборудования, электроизоляции проводов и кабелей; устройства защитных экранов, для защиты от рентгеновского и ядерного излучения в лабораторных условиях и в условиях работы ядерных реакторов различного назначения.

Лит.: Справочник по производству теплоизоляционных и акустических материалов. М., 1964; Справочник по строительным материалам и изделиям. К., 1966.

И. Т. Резниченко.

ИЗОМОРФИЗМ (от греч. *ἴσος* — постоянный и *μορφή* — форма) — 1) **Изо́морфизм** в мате-риа́лах — свойство атомов (ионов) одного вещества входить в кристаллическую решетку другого вещества, не вызывая ее изменения. В результате И. образуются однофазные системы, представляющие собой *твердые растворы* (смешанные кристаллы, соединения переменного состава, изоморфные смеси). В той или иной степени атомы различных элементов образуют общую кристаллическую решетку, не изменяющуюся при нек-ром изменении соотношения компонентов, и дают соединения, часто не удовлетворяющие стехиометрическим ф-лам. Добавка примесных атомов вызывает появление *вакансий*, междоузельных атомов, *дислокаций* и др. дефектов кристаллической решетки, влияющих на распределение этих атомов, что проявляется в уменьшении интенсивности интерференционных линий на рентгенограммах

в увеличении удельного электрического сопротивления и уменьшении пластичности по сравнению с исходными материалами. В структуре твердых растворов растворенные атомы и атомы растворителя сдвинуты из положений идеальной решетки. Исследование диффузного рассеяния рентгеновских лучей позволяло обнаружить в твердых растворах тенденцию к образованию ближнего порядка. Упорядоченность атомов решетки (дальний порядок) проявляется при низких t -рах, что отражается на св-вах и вызывает появление сверхструктурных линий на рентгенограммах. Примесные атомы или ионы изменяют физ. св-ва вещества, что используют для направленного изменения характеристик или создания новых соединений с заданными св-вами. И. контролируется термодинамическими условиями и характеризуется *диа-*

граммами состояния. При повышении t -ры и давления увеличивается взаимная растворимость и расширяется область существования твердых растворов. Способность к И. определяется электронным строением и размерами взаимодействующих атомов, что обуславливает характер образующихся хим. связей и способ размещения примесных атомов в матричной решетке. По способу размещения примесных атомов различают И. замещения (твердые растворы первого рода), И. внедрения (твердые растворы второго рода) и И. вычитания (твердые растворы вычитания). В структуре могут замещаться также отдельные домены блоками др. вещества, характеризующегося сходной анионной упаковкой. В твердых растворах первого рода атомы компонентов A и B обладают сходным электронным строением и близки по размерам, поэтому их взаимодействие не вызывает изменения характера хим. связи, а следовательно,

Непрерывные твердые растворы двойных систем металлов

Двойные системы металлов	Различие атомных радиусов, %	Двойные системы металлов	Различие атомных радиусов, %
Системы с решеткой гамма-железа		Системы с решеткой альфа-железа	
Гамма-железо — никель	0,8	Альфа-железо — хром	1,2
Гамма-железо — никель	1,2	Молибден — вольфрам	0,7
Гамма-железо — родий	6,3	Молибден — ванадий	4,1
Гамма-железо — иридий	7,6	Хром — ванадий	4,7
Гамма-железо — палладий	8,7	Вольфрам — ванадий	4,8
Гамма-железо — платина	9,9	Молибден — ниобий	5,0
Бета-кобальт — никель	0,4	Молибден — тантал	5,0
Бета-кобальт — родий	7,2	Хром — молибден	8,9
Бета-кобальт — иридий	8,4	Хром — вольфрам	9,7
Бета-кобальт — палладий	9,6	Системы с решеткой альфа-титана	
Бета-кобальт — платина	10,8		
Родий — иридий	1,1	Цирконий — гафний	0,6
Палладий — иридий	1,1	Осмий — рутений	0,8
Палладий — платина	1,1	Рутений — рений	1,9
Родий — палладий	2,2	Осмий — рений	2,6
Иридий — платина	2,2	Титан — скандий	3,1
Родий — платина	3,3	Гафний — скандий	5,0
Никель — родий	7,6	Цирконий — скандий	5,6
Никель — иридий	8,8	Титан — гафний	8,2
Никель — палладий	10,0	Титан — цирконий	8,9
Никель — платина	11,2		

и структуры: атомы А и В располагаются по одной и той же правильной системе точек. Неограниченные твердые растворы образуют элементы-аналоги со сходной структурой при различии атомных радиусов не более чем на 15% и одинаковым типом хим. связи (табл.).

Этим объясняется широкое развитие И. среди переходных металлов по группам, горизонтальным и диагональным рядам *периодической системы элементов*. В связи с этим при легировании сталей и чугунов главнейшими металлами являются титан, ванадий, хром, марганец, никель, молибден и вольфрам. В первом приближении период решетки твердых растворов аддитивно связан с периодами решеток компонентов. При несовершенном И. с понижением т-ры может происходить распад твердых растворов с образованием двух- или многофазных систем. Подобное явление используют для *старения металлов*, т. е. получения после закалки дисперсноупрочненных сплавов (см. *Дисперсноупрочненные материалы*), характеризующихся повышенной твердостью, изменением магн. и электр. св-в. В твердых растворах второго рода атомы компонентов отличаются электронным строением и геометрическими характеристиками. В междоузлия металла внедряются атомы неметалла, не изменяя структуры исходного металла (сплава), что предполагает низкую концентрацию внедренных атомов. Твердые растворы внедрения образуют водород, углерод и азот. Содержание углерода в твердом растворе альфа-железа (см. *Железо*) — 0,025 ат.%, в гамма-железе — 2,03, в твердом растворе ниобия — 0,02 ат.%. Увеличение концентрации усиливает хим. взаимодействие атомов металла и неметалла, изменяет электронную и кристаллическую структуру, вызывает образование *внедренных фаз*. Расчет радиусов междоузлий для гексагональных плотноупакованных, гранецентрированных кубических и объемноцентрированных кубических структур позволил сделать вывод о возможности внедрения атомов при $r_X/r_M \leq 0,59$, где r_X — радиус атома неметалла; r_M — радиус ато-

ма металла. Участие в связях металл — неметалл d -электронов определяет особые св-ва твердых растворов внедрения (тугоплавкость, твердость). Твердые растворы вычитания встречаются только в хим. соединениях с преимущественно ионным характером связи. Дефектность структуры может проявляться как в анионной, так и в катионной подрешетке. Анионные вакансии способны захватывать электроны, образуя центры с положительным зарядом (F -центры), наличие к-рых изменяет физ. св-ва кристалла. Перемещение электронов вызывает проводимость n -типа. Катионные вакансии образуют центры с отрицательным зарядом (V -центры) и связывают положительные заряды. *Электропроводность* при этом носит характер p -типа. Катионные вакансии образуются в результате перехода катиона в более высокое валентное состояние, что характерно для переходных металлов. Ф-ла соединений при этом имеет вид $Fe_{1-x}O$ (для вюститита) или $Fe_{1-x}S$ (для пирротина).

И. используют в технике легирования кристаллов и прогнозирования структур синтезируемых фаз.

Лит.: Григорович В. К. Периодический закон Менделеева и электронное строение металлов. М., 1966; Корнилов И. И. [и др.]. Металлохимические свойства элементов периодической системы. М., 1966; Ормонт Б. Ф. Современное содержание стехиометрических законов. Фазы и соединения переменного состава. Нестехиометрические соединения. В кн.: Соединения переменного состава. Л., 1969; Сивертсен Д. М., Никольсон М. Е. Структура и свойства твердых растворов. Пер. с англ. М., 1964; Шуберт К. Объяснение химической связи пространственной корреляцией электронов. В кн.: Интерметаллические соединения. Пер. с англ. М., 1970; Гольдшмидт Х. Дж. Сплавы внедрения, в. 1. Пер. с англ. М., 1971; Тейлор К., Дарби М. Физика редкоземельных соединений. Пер. с англ. М., 1974.

Л. Баженова.

2) **Изо м о р ф и з м** в м и н е р а л а х — взаимное замещение атомов (ионов) двух или нескольких хим. элементов, а также двух разнорядных ионов одного элемента в эквивалентных позициях кристаллической структуры минерала с образованием фаз переменного состава. Различают два осн. типа изоморфных

замещений: и з о в а л е н т н ы й И., когда валентность ионов замещающего и замещаемого элементов одинакова ($\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}$ в оливинах и пироксенах, $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Al}^{3+}$ и $\text{Ti}^{4+} \rightarrow \text{Si}^{4+}$ в силикатах, $\text{P}^{5+} \rightleftharpoons \text{As}^{5+}$ в фосфатах и арсенатах, $\text{As}^{3+} \rightleftharpoons \text{Sb}^{3+}$ в сульфосолях и т. д.), и г е т е р о в а л е н т н ы й И., характеризующийся различной валентностью взаимозамещаемых атомов. Гетеровалентный И. проявляется в двух осн. формах: замещении с сохранением числа атомов и замещении с изменением числа атомов в структуре минерала. Изоморфное замещение первого типа может идти по разным схемам. Так, два одинаковых атома часто замещаются двумя другими равновеликими, но с различной валентностью, отличающейся на единицу в меньшую или большую сторону от валентностей замещаемых атомов, напр. $2\text{R}^{2+} \rightarrow \text{R}^+ + \text{R}^{3+}$, $2\text{R}^{3+} \rightarrow \text{R}^{2+} + \text{R}^{4+}$ [Cu^+ (Ga, In) $^{3+} \rightarrow 2\text{Zn}^{2+}$ в сфалерите, $2\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{Si}^{4+}$ в авгите и роговой обманке, $2\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Ce}^{3+}$ в перовските и лопарите и т. д.]. Чаше всего пара атомов с различной валентностью замещается парой атомов с такой же суммарной валентностью, напр. $\text{R}^+ + \text{R}^{4+} \rightarrow \text{R}^{2+} + \text{R}^{3+}$, $\text{R}^{2+} + \text{R}^{4+} \rightarrow \rightleftharpoons \text{R}^+ + \text{R}^{5+}$, $\text{R}_1^{2+} + \text{R}_2^{2+} \rightarrow \text{R}^+ + \text{R}^{3+}$ и мл. др. ($\text{Na}^+ + \text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ в плагиоклазах, $\text{Na}^+ + \text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ в амфиболах, $\text{Na}^+ + \text{Nb}^{5+} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Ti}^{4+}$ в лопарите и т. д.). Сюда же относятся и катион-анионные пары, напр. такие, как $\text{R}^{2+} + \text{F}^- \rightarrow \text{R}^{3+} + \text{O}^{2-}$ ($\text{Ca}^{2+} + \text{F}^- \rightarrow \rightarrow \text{TR}^{3+} + \text{O}^{2-}$ во флюорите и апатите, где TR — редкоземельный элемент), $\text{R}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{R}^{2+} + \text{S}^{2-}$, характерные гл. обр. для сложных соединений с анionsами, обычно не входящие в состав радикалов. Часто при гетеровалентном И. заряды компенсируются внедрением дополнительных электроноприемных атомов в интерстициальные позиции, структурные каналы и т. д. или образованием электроноприемных центров (зарядовых дефектов), компенсирующих избыток

ный или недостаточный заряд внедрившегося атома. В частности, гетеровалентный И. $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Si}^{4+}$ в кварце может происходить одновременно с входжением однозарядных щелочных ионов (Na^+ , Li^+) в каналы кварца или с образованием дюрочных центров O^- на «примесных» (или «дефектных») алюминиевых тетраэдрах. Входжение трехвалентных ионов (TR^{3+} , Y^{3+} , Pb^{3+} , Fe^{3+}) в структуру кальцита нередко вызывает возникновение электронных центров CO_3^{3-} , т. е. замещение осуществляется по схеме $\text{R}^{3+} + \text{CO}_3^{3-} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$. Изоморфное замещение с изменением числа атомов в структуре (с образованием дефектных структур, в частности структур выпитания) также широко распространено в минералах, особенно среди сульфидов. Сюда относятся, напр., схемы замещения: $3\text{Fe}^{2+} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+}$ (широтин), $2\text{Cu}^+ \rightarrow \rightarrow \text{Cu}^{2+}$ (халькозин), $3\text{Mg}^{2+} \rightarrow 2\text{Al}^{3+}$ (биотит), $3\text{Fe}^{2+} \rightarrow 2\text{Sc}^{3+}$ и $3\text{Mn}^{2+} \rightarrow \rightarrow 2\text{Y}^{3+}$ (вольфрамит). Во всех указанных случаях в структурах минералов возникают незапаятые катионные позиции (вакантные узлы). Весьма важной характеристикой является степень совершенства И., отражающая пределы взаимного замещения атомов (ионов) в данной системе в зависимости от кристаллохимических и термодинамических факторов. Решающее значение при этом имеет выявление и правильная интерпретация факторов (критериев) изоморфного взаимного замещения атомов в кристаллах. К факторам, определяющим саму возможность И., относятся критерий хим. индифферентности атомов (замещающий и замещаемый элементы не вступают в хим. реакцию с образованием самостоятельного соединения), тождественность координационного числа, сходство природы хим. связи. Изоморфное замещение невозможно не только при различной координации атомов, но и при одном и том же координационном числе, если конфигурации валентных связей (гл. обр. для существенно ковалентных соединений) не совпадают. Поэтому элементы, проявляющие изоморфные отношения в ионных соединениях (напр.,

ник и железо в карбонатах), в сульфиде не показывают изоморфных отношений или замещаются только в одном направлении (Fe^{2+} входит в структуру сфалерита, но Zn^{2+} не замещает Fe^{2+} в тронилите). Степень совершенства И. зависит прежде всего от межкатомных расстояний. Кроме того, на степень совершенства И. существенно влияют состояние ионно-ковалентных связей и температурные условия образования минералов. В зависимости от степени совершенства различают И. весьма совершенный (разность радиусов ионов Δd от 0 до 4—5%) при всех т-рах ($\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}$, непрерывные ряды замещения); совершенный (Δd от 4—5 до 8—10%), проявляющийся лишь при средних и высоких т-рах ($\text{Mn}^{2+} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}$ в гранатах); ограниченный (Δd от 8—10 до 14—16%), проявляющийся при высокой т-ре ($\text{Ca}^{2+} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}$ в энстатите и диопсиде); несовершенный (Δd от 14—16 до 20—25%) ($\text{Ti}^{4+} \rightleftharpoons \text{Zr}^{4+}$ в эвдиалите); весьма несовершенный ($\text{Ba}^{2+} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}$, $\text{Ti}^{4+} \rightleftharpoons \text{Si}^{4+}$). Степень совершенства И. весьма важна для установления соотношения минеральный вид — подвид — разновидность, что является основой построения рациональной минералогической номенклатуры. Значение И. в минералогии определяется прежде всего необходимостью правильной интерпретации хим. состава и хим. строения минералов, особенно минералов перем. состава, представляющих собой изоморфные серии и ряды. Кроме того, изоморфное включение примесей при кристаллизации минералов рассматривается как один из главных геохимических процессов, приводящих к определенным ассоциациям хим. элементов в минералах. Это определяет мин. прикладные аспекты И., связанные с поисками новых видов минер. сырья, особенно редких и рассеянных элементов, и технологией переработки руд. Осн. закономерности и энергетические параметры И. имеют важное значение при синтезе минералов, обладающих техническими свойствами (полупроводниковые кристаллы, материалы для квантовой радиоэлектроники, люминофоры и т. д.).

Лит.: Соболев В. С. Введение в минералогию силикатов. Львов, 1949; Франк-Каменецкий В. А. Природа структурных примесей и включений в минералах. Л., 1964; Пятенко Ю. А. Об изоморфизме атомов и некоторых его минералогических следствиях. «Геохимия», 1965, № 4; Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Кухаренко А. А. Проблемы изоморфизма в минералогии. «Записки Всесоюзного минералогического общества», 1970, т. 99, в. 2; Макаров Е. С. Изоморфизм атомов в кристаллах. М., 1973.

ИЗОПЕРМ [от греч. *ἴσος* — постоянный и англ. perm (sability) — пронцаемость] — сплав на основе системы железо—никель, отличающийся постоянством магнитной пронцаемости при изменении напряженности магн. поля. Впервые создан (1933) в Германии. Различают сплавы двойные (железоникелевые) и тройные (железоникелевые с добавкой 13—15% Cu или 4—5% Al). Типичным И. является двойной сплав (60% Fe, 40% Ni), магн. свойства к-рого достигаются холодной прокаткой со степенью обжатия 98,5%, отжигом в течение часа при т-ре 1000—1200° С и вторичной холодной прокаткой со степенью обжатия 50%. Наиболее стабильными и высокими магн. св-вами отличается тройной И. (40% Ni, 13 ÷ 15% Cu, остальное железо), у к-рого начальная магн. пронцаемость составляет около 95 гс/э,

$$\frac{B_r}{B_s} \leq 0,04. \text{ Эти св-ва обусловлены}$$

формированием доменной структуры, при к-рой векторы намагниченности доменов ориентированы перпендикулярно направлению намагничивания, совпадающему с направлением прокатки (в плоскости листа для железоникелевых и перпендикулярно плоскости листа для железоникельмедных сплавов). И. — материал, ограниченно используемый в произ-ве высокочастотной телефонной аппаратуры. См. также Магнитно-мягкие материалы.

Лит.: Бозорт Р. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956; Хек К. Магнитные материалы и их техническое применение. Пер. с нем. М., 1973.

В. В. Соснин.

ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ ЗАКАЛКА (от греч. *ἴσος* — постоянный и *θέρμη* —

тепло) — закалка стали с выдержкой в процессе охлаждения при постоянной т-ре (т. н. изотермической выдержке). Впервые применена во второй половине 19 в. рус. металлургом Д. К. Черновым. При И. з. сталь нагревают до т-ры полной аустенизации, быстро охлаждают до т-ры, немного превышающей т-ру начала мартенситного превращения, выдерживают при этой т-ре до полного распада аустенита и затем охлаждают с любой скоростью. Частный случай И. з. — патентирование стали. Сталь при И. з. охлаждают преим.

в расплавленных солях и щелочах, реже — в расплавленном свинце (табл. 1, 2). Перспективна И. з. в расплавленных солях, в к-рые добавлено около 1% воды, подающейся по трубе, погруженной в расплав. Вода стабилизирует охлаждающую способность расплава и его т-ру, независимо от количества тепла, вносимого закаливаемыми изделиями. Скорость охлаждения в расплавленной соли с водой в четыре — шесть раз больше скорости охлаждения в расплаве без воды и в два с лишним раза больше, чем в холодном минеральном масле. После И. з. с охлаждением в расплавленной соли с водой в два-три раза повышаются пласт-

Таблица 1. Температуры плавления и рекомендуемые температуры применения закалочных ванн для изотермической закалки

Закалочная ванна	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$t_{пр}, ^\circ\text{C}$
NaNO_2	317	350—550
NaNO_3	271	300—550
KNO_3	337	350—550
45% NaNO_3 + 55% KNO_3	220	230—550
45% NaNO_2 + 55% KNO_3	137	155—550
50% NaNO_2 + 50% KNO_3	225	280—550
25% KNO_3 + 75% NaNO_3	240	380—540
50% NaNO_3 + 50% NaNO_2	205	260—600
25% NaNO_2 + 25% NaNO_3 + 50% KNO_3	175	205—600
NaOH	322	350—700
KOH	360	400—650
75% NaOH + 25% NaNO_3	280	420—540
60% NaOH + 40% NaCl	450	500—700
95% NaNO_3 + 5% Na_2CO_3	304	380—520
70% NaOH + 15% NaNO_3 + 10% NaNO_2 + 5% Na_3PO_4	250	280—600
60% NaOH + 15% NaNO_3 + 15% NaNO_2 + 10% Na_3PO_4	280	300—500
40% NaOH + 30% NaNO_3 + 25% NaNO_2 + 5% Na_3PO_4	280	300—500

Таблица 2. Свойства закалочных ванн для изотермической закалки

Закалочная ванна	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\lambda, \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$	Коэффициент теплоотдачи, $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$	$C, \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	$\eta, \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{сек}}$	Текучесть, $\frac{1}{\text{тпаз}}$	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$
Pb	11,30	31,0	2600	0,044	0,017	58,8	327,4
NaO_3	1,80	0,30	460	0,42	0,015	66,7	317
KNO_3	1,78	—	398	0,32	0,0166	60,5	337
NaOH	1,72	0,35	397	0,40	0,022	45,5	322
KOH	1,70	—	330	—	0,017	58,8	360

и ударная вязкость изде-
лий, увеличивается их износостой-
кость. Соотношение между количе-
ством бейнита, мартенсита и аустени-
та при И. з. регулируется временем
изотермической выдержки. И. з.
конструкционной стали на «нижний»
бейнит — один из способов получе-
ния высокопрочной стали. Сталь,
обработанная таким образом, менее
чувствительна к надрезу и переко-
су, чем сталь с такой же твердостью
после закалки с непрерывным охлаж-
дением на мартенсит и последующего
отпуска. Применение И. з. повышает
конструкционную прочность мн. кон-
струкционных и инструментальных
сталей, снижает коробление, спо-
собствует устранению закалочных
трещин, получению светлой (без
окалины) поверхности. После И. з.
понижаются пределы текучести и
упругости (на 20—30%) и увеличи-
вается ударная вязкость стали (в
1,5—2 раза) по сравнению с улучшен-
ной (закалка и отпуск при т-ре 500°С)
сталью. Это способствует широкому
применению И. з., особенно для ин-
струментов сложной формы и больших
размеров, изготовленных из быстро-
режущей и легированной стали.

Лит.: Шмыков А. А. Справочник
термиста. М., 1961; Паисов И. В.
Термическая обработка стали и чугуна.
М., 1970; Гудремон Э. Специальные
стали, т. 1. Пер. с нем. М., 1966.

В. И. Лизунов, [И. В. Паисов.]
ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ОТЖИГ — от-
жиг второго рода, сопровождающий-
ся превращением высокотемператур-
ной фазы в эвтектоидную смесь при
постоянной температуре. В процессе
И. о. изотермическую выдержку ста-
ли проводят при т-ре верхней миним.
стойкости аустенита, определяемой
по его диаграмме изотермической.
Охлаждают сталь ступенчато (до и
после изотермической выдержки
охлаждение может быть ускоренным),
и превращение аустенита происходит
во время температурных остановок
(ступеней). В зависимости от числа
ступеней различают И. о. одно- и
двухступенчатый. И. о. осуществляют
в основном для сокращения про-
должительности самого процесса от-
жига, хотя после отжига с превраще-
нием аустенита в процессе непрерыв-
ного (медленного) охлаждения твер-
дость стали ниже, что обеспечивает
ее лучшую обрабатываемость. И. о.

особенно эффективен для высоко- и
сложнолегированных сталей (см. Ле-
гированная сталь), характеризую-
щихся большой стойкостью аустенита
в верхней области т-р при распаде
его на ферритокарбидную смесь. Так,
отжиг сталей марок Х12М, Х12Ф и
Х12 заключается в их нагреве до т-ры
850—870°С, выдержке при этой т-ре
более 2 ч и охлаждении, к-рое может
быть непрерывным (со скоростью
15—20 град/ч примерно до т-ры
500°С) или ступенчатым (т. е. с изо-
термической выдержкой). Если при-
меняют изотермическую выдержку,
металл охлаждают со скоростью 40—
50 град/ч до т-ры 720°С, выдержи-
вают при этой т-ре 3—4 ч, затем
охлаждают с печью до т-ры 500°С и
далее — на воздухе. И. о. проводят
в печах с системой автоматического
регулирования т-ры. Чтобы устано-
вить, когда И. о. предпочтительнее
отжига с непрерывным охлаждением,
анализируют диаграмму изотерми-
ческого превращения аустенита с уче-
том возможностей термического обо-
рудования. Кроме того, разработаны
рекомендации, касающиеся режимов
термической обработки сталей боль-
шинства марок.

Лит.: Металловедение и термическая об-
работка стали и чугуна. Справочник. М.,
1956; Шмыков А. А. Справочник
термиста. М., 1961; Раузин Я. Р.
Термическая обработка хромистых сталей.
М., 1963. И. Г. Неижко.

ИЗОТРОПИЯ (от греч. *ισος*, здесь —
одинаковый и *τροπή* — направле-
ние) — одинаковость свойств мате-
риала в разных направлениях (ср.
Анизотропия). Соответственно мате-
риалы, какое-либо свойство к-рых
одинаково в разных направлениях,
наз. изотропными. Изотропные мате-
риалы, так же как и анизотропные,
могут быть структурно или компо-
зиционно однородными и неоднород-
ными. Изотропны материалы с аморф-
ной структурой, поликристаллы с
беспорядочным расположением кри-
сталлитов, если нет текстуры
материала. Изотропны в отношении
ряда св-в и некоторые монокристал-
лы. Так, удельная электропровод-
ность и оптические св-ва кубических
кристаллов не зависят от направле-
ния, монокристаллы вольфрама

изотропны в отношении *упругости*. В общем случае по И. одних св-в нельзя делать выводы об И. всех св-в материала. Так, кубические монокристаллы, изотропные в отношении оптических и электр. св-в, в большинстве своем упругоанизотропны. Поликристаллы (если нет текстуры), как правило, упругоизотропны, но часто анизотропны по сопротивлению деформированию или разрушению. Отпрессованные полосы из сплава Д16 в рекристаллизованном состоянии после *закалки* и естественного старения изотропны в отношении предела *текучести*, заметно анизотропны в отношении предела *прочности* и сильно анизотропны по характеристикам *пластичности*. И. конструктивных материалов во мн. случаях является желательным, а часто и обязательным качеством, напр. когда напряженное состояние материала в условиях эксплуатации неизвестно или изменяется с течением времени. Однако получение изотропных материалов часто оказывается весьма сложной задачей. Для создания таких материалов разработаны технологические приемы, направленные на устранение и уменьшение их анизотропии. Одним из таких приемов является *гомогенизация* слитков перед обработкой давлением. Полученные из слитков полуфабрикаты обладают существенно меньшей анизотропией мех. св-в, что особенно важно для листов, деформируемых глубокой вытяжкой. И. их пластических св-в позволяет избежать появления фестонов (выступов на кромке изделия) в процессе штамповки. Иногда с целью уменьшения анизотропии в материал специально вводят строго определенное количество небольших добавок — легирующих элементов. Так, И. в отожженном катаном алюминии обеспечивается добавлением цинка (0,1%). Для высокопрочных сплавов алюминия важно избежать большого количества интерметаллических фаз (см. *Металлиды*), резко повышающих анизотропию некоторых св-в, в частности сопротивления *усталости материалов* и, в особенности, *пластичности*. При полосчатом расположении металлов

может быть в несколько раз меньше, чем по длине. Вследствие этого ограничивают содержание хим. элементов, склонных к образованию металлов. Эффективным технологическим приемом, устраняющим анизотропию, является подбор оптимальных режимов обработки слитков давлением. Для горячедеформированных изделий большое значение имеет степень деформации, температурно-скоростные параметры обработки, дробность и направление деформирования. Каптовкой при прокатке можно уменьшить, а иногда и исключить анизотропию мех. свойств. Уменьшают, а часто и устраняют анизотропию подбором оптимальных режимов *термической обработки* и *термомеханической обработки*. Так, И. мех. свойств часто обеспечивает дорекристаллизационный *отжиг* холоднодеформированных изделий. И. неметаллических синтетических материалов (напр., листовых стеклопластиков), а также металлических композиционных материалов достигают армированием (см. *Армированные материалы*). Практически изотропны, напр., стеклопластик «звездой» структуры. В некоторых случаях И. нежелательна; иногда даже целесообразно применять материалы с анизотропией определенных св-в, позволяющей полнее использовать их возможности. Так, для изготовления емкостей, рассчитанных на большое внутр. давление, применяют анизотропные по пределу упругости *титановые сплавы*, ориентированные по макс. прочности по окружности, поскольку в этом случае тангенциальные напряжения в два раза выше осевых и прочность материала вдоль оси емкости не используется.

Лит.: Кудрявцев И. П. Текстуры в металлах и сплавах. М., 1965; Микляев П. Г., Фридман Я. Б. Анизотропия механических свойств материалов. М., 1969; Барретт Ч. С. Структура металлов. Пер. с англ. М., 1948.

П. Г. Микляев.

ИМПЕДАНСНЫЙ МЕТОД ДЕФЕКТОСКОПИИ (англ. impedance — сопротивление, от лат. impedio — препятствую), метод *дефектоскопии*, основанный на зависимости мех. импеданса (мех. сопротивления) материала от наличия в нем дефектов; один из методов *акустической дефек-*

дефектоскопии. Впервые предложен в СССР в конце 50-х гг. Мех. импеданс зависит от размеров, плотности и упругих св-в материала, а также степени поглощения упругих колебаний в нем. Для осуществления контроля в исследуемом изделии возбуждают изгибные колебания звуковой частоты ($1 \div 8$ кгц). Если связь между элементами изделия существует, они колеблются как единое целое и значение мех. импеданса материала максимально. Если же она ослаблена наличием дефектов, то в их зоне мех. импеданс становится меньше, чем в бездефектной. И. м. д. применяются в двух вариантах — амплитудном и фазовом. В амплитудном варианте мех. импеданс оценивается по амплитуде силы реакции контролируемого изделия на возбуждающий его стержневой датчик, а в фазовом — по изменению фазы силы реакции изделия на датчик. Для И. м. д. используют дефектоскопы ИАД-1 и ИАД-2 — в амплитудном и дефектоскоп ИАД-3 — в амплитудном и фазовом вариантах контроля. И. м. д. применяют, если модуль упругости материала того слоя, со стороны которого осуществляют контроль, достаточно велик (напр., металла). Контроль со стороны материалов с низким значением модуля (напр., углеродистых волокон) обычно невозможен. Кроме того, необходимо, чтобы отношение жесткости всего изделия к жесткости слоя, отделенного дефектом, было достаточно большим. И. м. д. применяют для контроля соединений между металлическими и неметаллическими обшивками и заполнителями в сотовых панелях (в т. ч. и паянных), для контроля двухслойных конструкций из силового металлического или неметаллического каркаса с приклеенным к нему неметаллическим покрытием. В процессе проверки сотовых панелей предельная толщина обшивки, при которой контроль еще достаточно эффективен, составляет для алюминиевых сплавов ~ 2 мм, для стали $\sim 1,5$ мм, макс. глубина расположения выявляемых дефектов в неметаллических покрытиях — 4—7 мм.

Лит.: Ланге Ю. В. Некоторые особенности акустического импедансного метода дефектоскопии. «Дефектоскопия», 1965, № 1; Ланге Ю. В. Фазовый вариант акустического импедансного метода

дефектоскопии. «Дефектоскопия», 1969, № 3; Фельдман Л. С. Неразрушающий контроль качества клееварных соединений. К., 1973. Л. С. Фельдман.

ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА материалов

(от лат. impulsus — толчок) — обработка материалов кратковременным тепловым или силовым воздействием различных источников энергии. Характеризуется высокой интенсивностью процесса, выражающейся в значительных скоростях нагрева и охлаждения (до 10^{10} град/сек), больших скоростях упругого и пластического деформирования, значительных температурных градиентах (до 10^8 град/см) и уровнях термических напряжений и др. Сопровождается обычно фазовыми переходами, включая плавление и испарение, с изменением св-в и структуры материалов. Различают И. о. воздействием электронного луча, моно- или полихроматических пучков света, электр. дуги или сгустков плазмы, электр. искры в воздухе или в жидком диэлектрике, магн. импульсов, электр. или хим. взрыва. Для обработки электронным лучом используют электронные трубки. Катоды таких трубок эмитируют электроны, к-рые ускоряются вследствие разности потенциалов между анодом и катодом и сходятся в пучок с помощью формирующей системы (рис. 1 на с. 494). Наиболее эффективны аноды с отверстием, проходя через к-рое луч попадает на обрабатываемое изделие, где кинетическая энергия ускоренных электронов превращается в тепловую. Ускоряющее напряжение составляет $10 \div 150$ кВ. Прерыванием тока накала или подачей отрицательного напряжения на формирующий электрод создают импульсный режим воздействия. Длительность импульсов от 10^{-6} до 10^{-1} сек, диаметр электронного луча — от 0,001 до 0,1 мм, плотность энергии в импульсе до 10^8 вт/см². Обработка электронным лучом позволяет более эффективно использовать вводимое тепло, не допуская прожога металла, а также деформации тонколистовых материалов. Кроме того, при получении отверстий малого диаметра в изделиях из материалов с высокой теплопро-

водностью уменьшается количество жидкой фазы (расплава), движение к-рой снижает точность обработки из-за возможного заплывания отверстия в течение времени действия импульса. Параметры обработки улучшают амплитудно-фазовой модуляцией импульса. Иногда анодом служит само обрабатываемое изделие. И. о. электронным лучом используют для сварки тонкостенных малогабаритных деталей (напр., в электровакуумных приборах), для фрезерования и гравирования поверхности изделий из тугоплавких материалов, для получения отверстий малого диаметра в пластинах из твердых материалов (сплавов, алмаза и др.). Для обработки пучками света применяют: оптические квантовые генераторы — лазеры; импульсные лампы, дающие излучение в видимой области спектра; импульсные источники, в к-рых используется излучение дугового разряда, помещенного в фокусе отражателя; гелиоустановки, фокусирующие солнечное излучение. При такой обработке плотность энергии светового пучка на поверхности изделия составляет от 10^2 до 10^8 вт/см^2 и выше. В твердотельных лазерах (рис. 2) длительность импульса составляет около 10^{-3} сек и может быть сокращена до 10^{-8} сек и меньше, частота следования импульсов достигает сотен герц, плотность энергии светового пучка $10^5 -$

10^6 вт/см^2 . При обработке пучками света используют для точечной и шовной сварки, упрочнения небольших (с линейными размерами порядка 0,1 мм) участков поверхности изделия, фрезерования, получения отверстий в

Рис. 1. Схема импульсной обработки материалов электронным лучом: 1 — катод; 2 — анод; 3 — формирующая система (а — фокусирующая линза; б — отклоняющее устройство); 4 — сфокусированный пучок электронов; 5 — обрабатываемое изделие; 6 — вакуумный насос.

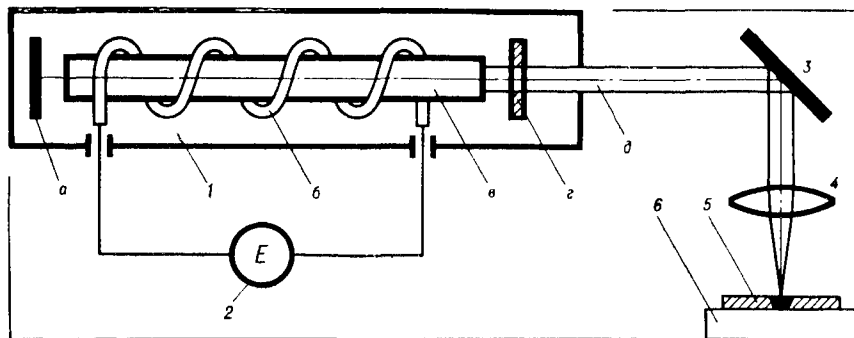
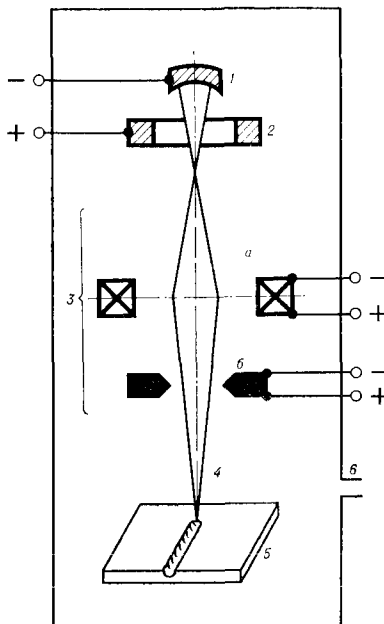
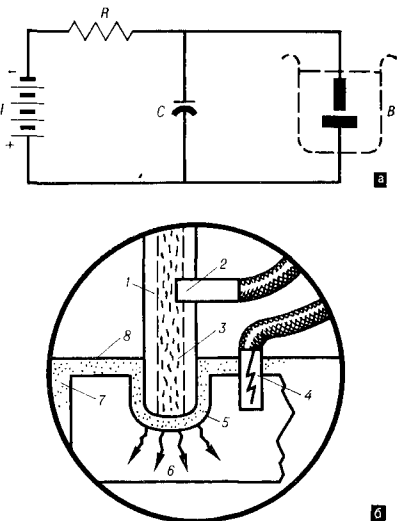


Рис. 2. Схема импульсной обработки материалов пучками света от твердотельного лазера: 1 — генератор излучения (а — непрозрачное зеркало; б — импульсная лампа накачки); в — кристалл рубина или стекла с неодимом; 2 — полупрозрачное зеркало; 3 — поворотное зеркало; 4 — фокусирующая система; 5 — обрабатываемое изделие; 6 — стол с механизмом перемещения.

изделий из сверхтвердых материалов и др. Обработку электрической дугой или сгустками плазмы используют в основном для сварки материалов, чаще всего аргоно-дуговой, чтобы избежать деформации и коробления сварных соединений. Длительность импульсов от 10^{-3} до 10^{-1} сек, плотность энергии теплового потока в пятнах на аноде или катоде 10^5 — 10^6 вт/см², линейные размеры пятна нагрева составляют несколько миллиметров. Т-ра плазменных сгустков, к-рые получают, пропуская через зону разряда электр. дуги поток газа, составляет от нескольких тысяч до десятков тысяч градусов. Импульсные режимы создают, прерывая разряд. Плотность энергии теплового потока в пятне воздействия плазменных сгустков достигает 10^4 вт/см². Обработка электрической искрой основана на прохождении между электродами (в жидком диэлектрике — воде или керосине) импульсов

Рис. 3. Схема импульсной обработки материалов электрической искрой: а — принципиальная схема (I — источник постоянного тока; R — сопротивление; B — ванна с жидким диэлектриком; C — конденсатор); б — схема действия электрода (1 — электрод; 2 — отрицательный провод; 3 — жидкий диэлектрик; 4 — положительный провод; 5 — искровой промежуток; 6 — обрабатываемое изделие; 7 — выброшенные частицы; 8 — поверхность жидкого диэлектрика).



электр. тока, что сопровождается выделением энергии на малом участке поверхности электрода. Искровые промежутки составляют примерно 10—200 мкм, длительность импульса порядка 10^{-6} сек. Отверстия в изделиях из твердых материалов образуются вследствие воздействия серии импульсов. Интегральный эффект эрозии (см. *Эрозия металлов*) при электроискровой обработке представляет собой сумму эрозионного эффекта отдельных импульсов. Электр. эрозии присущ эффект полярности, заключающийся в превышении эрозии одного электрода над эрозией другого. Установка для электроискровой размерной обработки (рис. 3) состоит из генератора униполярных импульсов электр. тока; станины, на к-рой размещен бак с обрабатываемым изделием и электродом-инструментом; сервомеханизма, автоматически обеспечивающего непрерывность обработки; гидросистемы, в к-рой циркулирует и фильтруется жидкость. Электр. искрой обрабатывают с достаточной точностью единичные изделия и большие их партии. При обработке магнитным импульсом, к-рую используют в основном для штампования изделий, заготовку помещают в соленоид, через к-рый пропускают электр. ток. При быстром изменении напряженности магн. поля выталкивающая сила достаточна для того, чтобы вогнать заготовку в полость матрицы — осуществить штампование. Чем больше скорость изменения величины тока в соленоиде, тем быстрее изменяется напряженность магн. поля, индуцируемого в соленоиде, и тем больше ток, индуцированный в заготовке. Для электромагнитного штампования используют энергию разряжающегося конденсатора. К преимуществам магнитоимпульсной обработки относится несложность оборудования, к недостаткам — невозможность выполнения мн. видов обработки. При обработке в з р в о м заряд размещают непосредственно у заготовки или на некотором расстоянии от нее. Если заряд удален от заготовки, энергия взрыва передается через промежуточную среду — происходит

обработка ударными волнами. Давление при обработке взрывом порядка $10^2 - 10^5$ кгс/см², длительность процесса порядка $10^{-6} - 10^{-3}$ сек. Энергию взрыва используют для штампования, сварки, спрессовывания, калибрования, гравирования и поверхностного упрочнения материалов. Исходный материал может быть

при $t = 315^\circ \text{C}$. Если требуется высокая стабильность размеров, изделия из И. дополнительно подвергают старению (см. *Старение металлов*) при $t = 95^\circ \text{C}$ в течение 48 ч. После такой термообработки температурный коэфф. линейного расширения наиболее распространенного сплава марки 36Н (с миним. содержанием примесей) менее $2 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, плотность 8,1 г/см³, электрическое сопротивление 0,8 ом·мм²/м, остаточная индук-

Химический состав инваров

Марка сплава	Содержание элементов, %							
	Fe	Ni	C	Si	Mn	Co	Cr	Cu
36Н	Основа	36	0,05	0,3	0,5	—	0,15	—
36Н-ВИ	»	36	0,03	0,3	0,4	—	—	—
36НХ	»	36	0,05	0,3	0,5	—	0,5	0,25
36НГТ	»	36	0,11	0,35	3,0	—	—	—
36НГ6	»	36	0,08	0,25	6,5	—	—	—
39Н	»	39	0,05	0,3	0,5	—	—	0,2
35НКТ	»	34,5	0,05	0,5	0,3	5,5	—	0,3

Примечание: Сплав марки 36НГТ содержит 0,8—1,2% Ti, сплав марки 35НКТ содержит 2,2—2,8% Ti.

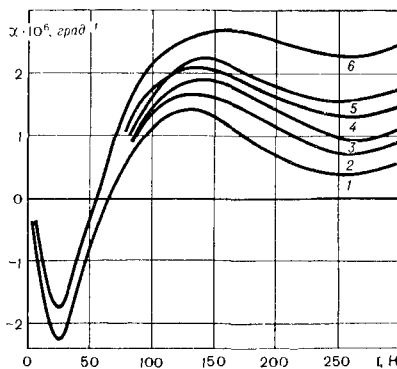
в виде толстых плит, листа или порошка.

Лит.: Электроискровая обработка металлов, в. 1. М., 1957; Электроно-и ионно-лучевая технология. М., 1968; Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов. М., 1973; Райнхарт Дж. С., Пирсон Дж. Взрывная обработка металлов. Пер. с англ. М., 1966. Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов.

ИНВАР (от лат. *invariabilis* — неизменный) — железоникелевый сплав с низким температурным коэфф. линейного расширения, мало изменяющимся до температуры 100°С. Разработан во Франции в 1896. И., дополнительно легированный кобальтом, наз. *суперинваром*, железокобальтовый сплав, дополнительно легированный хромом, — нержавеющим инваром. В СССР выплавляют И. семи марок (табл.). Существует сложная зависимость температурного коэфф. линейного расширения сплава от t -ры и режима обработки (рис.). Инварный эффект (миним. линейное расширение) наблюдается при содержании никеля около 36%. Оптимальным режимом термообработки сплава является *закалка* с t -ры 830°С в воде и *отпуск* в течение 1 ч

при 4700 гс, индукция в поле 8 э — 8700 гс, коэрцитивная сила 0,16 э, модуль упругости 15 000 кгс/мм²,

Зависимость температурного коэффициента линейного расширения инвара марки 36Н от режима обработки: 1 — холодная прокатка с деформацией (обжатие 63%); 2 — закалка с t -ры 830°С в воде; 3 — закалка с t -ры 830°С в воде и отпуск при $t = 315^\circ \text{C}$ в течение 1 ч; 4 — охлаждение на воздухе с t -ры 950°С; 5 — охлаждение вместе с печью с t -ры 950°С; 6 — отжиг при $t = 600^\circ \text{C}$ в течение 5 ч, охлаждение до t -ры 100°С в течение 90 ч.



редел прочности на растяжение 46 кгс/мм², относительное удлинение 39%, относительное сужение 78%. Полуфабрикаты из И. выпускают в виде холоднокатаных лент, труб, прутков, листов и полос. Сплавы марок 36Н и 36Н-ВИ используют для изготовления штриховых мер длины, маятников точных часов, проволоки базисных мерных приборов, нивелирных реек, деталей термостатов, в качестве пассивной составляющей *термобиметаллических материалов*. Сплавы марок 36НХ и 39Н — конструкционные материалы для криогенных устройств, эксплуатируемых до т-ры —269° С. Сплав марки 35НКТ применяют для изготовления приборных деталей, где необходимо сочетать высокую стабильность размеров со значительной прочностью и твердостью. Из сплавов марок 36НГТ и 36НГ6 изготавливают сварочные электроды. Хим. состав сплава марки 36Н регламентирует ГОСТ 10994—64, сплавов остальных марок — различные технические условия.

Лит.: Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Бозорт Р. М. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956.

А. И. Захаров.
ИНДИЙ [Indium; назв. по характерным для его спектра синим (цвета индиго) линиям], In — хим. элемент III группы *периодической системы элементов*; ат. н. 49, ат. м. 114,82. Серебристо-белый мягкий металл. В соединениях проявляет преим. степень окисления +3. Состоит из изотопов ¹¹³In (4,33%) и ¹¹⁵In (95,67%). Изотоп ¹¹⁵In отличается слабой бета-радиоактивностью (период полураспада 6 · 10¹⁴ лет). Из искусственных радиоизотопов важнейшим является изотоп ¹¹⁴In с периодом полураспада 49 дней. И. открыли в 1863 нем. ученые Ф. Рейх и Т. Рихтер при спектроскопическом исследовании цинковой обманки. Пром. использование И. началось в 20—30-х гг. 20 в. И. — типичный рассеянный элемент. Среднее содержание его в земной коре 1 · 10⁻⁵ %. Будучи элементом халькофильным, чаще всего встречается в виде изоморфной смеси в сульфидных полиметаллических рудах. Минералы И. — рекизит CuInS₂, индит FeInS₄, джаклинит In(OH)₃ и самородный индий — встречаются редко. Практическое значение имеет обогащение И.

индий

в сфалеритах (до 0,1%), халькопиритах, касситеритах, сульфостаннах и сульфоантимонатах — минералах высокотемпературно-гидротермального генетического типа, в к-рых И. связан с цинком, оловом, кадмием и свинцом. Кристаллическая решетка И. — тетрагональная гранецентрированная с периодами $a = 4,583$ и $c = 4,936$ Å; плотность 7,31 г/см³; $t_{пл}$ 156,6° С; $t_{кип}$ 2075° С. Температурный коэфф. линейного расширения (т-ра 20° С) $24,8 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹; температурный коэфф. объемного расширения (т-ра 0—25° С) $77 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹; коэфф. теплопроводности (т-ра 0—100° С) 0,06 кал/см · сек · град; удельная *теплоемкость* (т-ра 0—150° С) 0,056 кал/г · град; удельное *электрическое сопротивление* (т-ра 0° С) $8,2 \cdot 10^{-6}$ ом · см; *прочность* на разрыв 0,23 кгс/мм²; *НВ* ≈ 1,0. Плотный И. в воде и щелочах не корродирует (см. *Коррозия металлов*). В минеральных к-тах и щавелевой к-те на холоду растворяется медленно, а при нагревании быстрее. Соли И. легко гидролизуются, образуя основные соли или гидроокись In(OH)₃ — белый аморфный порошок, нерастворимый в воде, легко растворимый в к-тах и ограниченно растворимый в щелочах с образованием индатов. На воздухе И. стоек, однако окисляется при высокой т-ре, образуя окись In₂O₃ — желтый порошок, хорошо растворимый в к-тах. Выше т-ры 850° С In₂O₃ диссоциирует с образованием In₂O₄. При восстановлении водородом получается летучее соединение In₂O. При нагревании И. легко соединяется с галогенами, образуя растворимые *галогениды* InCl₃, InBr₃ и InI₃. С серой образует *сульфиды* In₂S₃ и InS. Легко растворимые в сернистых щелочах. Из нейтральных растворов кристаллизуется *сульфат* In₂(SO₄)₃, из кислых (в зависимости от содержания серной к-ты) растворов выпадают кристаллогидраты с шестью и десятью молекулами воды. Увеличение в растворе содержания серной к-ты до 55% понижает *растворимость* сульфата до 0,5% вместо 62,1% в

нейтральном растворе. И. получают из отходов и промежуточных продуктов произ-ва цинка, свинца и олова, содержащих сотые процента индия. Извлечение И. состоит из получения обогащенного металлом концентрата, переработки концентрата до чистого металла и *рафинирования*. Сырье обрабатывают серной к-той, переводя И. в раствор, из к-рого гидролитическим осаждением выделяют обогащенный индием концентрат. Черновой индий извлекают из обогащенных растворов обменной реакцией с металлическим цинком или алюминием.

Рафинируют И. химическим, электрохимическим, дистилляционным и кристаллохимическим способами. Товарные формы И. — слитки, по заказу — стержни, диски, ленты, шарики, проволока и порошок. Основные потребители И.: авиационная и автомобильная пром-сть (*антикоррозионные покрытия*, подшипниковые устойчивые смазки, нетускнеющие зеркала и рефлекторы с высокой отражательной способностью); полупроводниковая техника, радиотехника и электроника (получение арсенида, антимонида и фосфида, отличающихся полупроводниковыми свойствами, создание дырочной проводимости и *n — p*-переходов в металлическом германии, изготовление диодов, триодов и мощных германиевых выпрямителей); ядерная техника (стойкие индийсодержащие стержни, регулирующие поток нейтронов в ядерных реакторах); приборостроение (низкотемпературные припойные сплавы для соединения кварца, стекла и металла, спец. прокладки в вакуумных системах, термоограничители); хим. машиностроение (сплавы, стойкие против щелочной коррозии); стекольная пром-сть (карбонат и фосфат индия в произ-ве оптических стекол спец. назначения); ювелирная и зубо-врачебная техника. См. также *Индия сплавы*.

Лит.: Зеликман А. Н., Крейв О. Е., Самсонов Г. В. *Металлургия редких металлов*. М., 1964; Сонгина О. А. *Редкие металлы*. М., 1964; Основы металлургии, т. 4. М., 1967; Зеликман А. Н., Меерсон Г. А. *Металлургия редких металлов*. М., 1973. А. Т. Нижник.

Индия сплавы — сплавы, в которых индий является основным компонентом или определяет важные их свойства. Применяются с 30-х гг. 20 в. И. с. (табл. 1, 2) содержат, кроме индия, олово, висмут, кадмий, свинец, иногда — галлий, цинк, таллий и др. Различают И. с., содержащие 10—50% In, и И. с., легированные индием. Сплавы, богатые индием, легкоплавки (см. *Легкоплавкие сплавы*), хорошо смачивают многие металлические и неметаллические материалы. Наличие индия снижает окисляемость таких сплавов в расплавленном состоянии. Индий диффундирует в другие металлы при относительно низкой т-ре, образуя твердые, износостойкие *защитные покрытия*. Повышение твердости И. с. зависит от образования *твердых растворов* индия с металлом. Наибольшей *твердостью* и *прочностью* среди двойных И. с. обладают сплавы со свинцом (рис.). Индий как легирующий элемент увеличивает твердость и прочность сплавов на разрыв, облегчает мех. обработку и повышает *коррозионную стойкость*. И. с. получают чаще всего *кристаллизацией* из расплава после непосредственного сплавления индия с др. металлами под защитным слоем угольного порошка или парафина. Полуфабрикаты сплавов изготовляют в виде слитков. Осн. потребители И. с. — приборо- и машиностроение, атомная техника, электроника. Сплавы марок Л47 и Л58

Таблица 1. Химический состав индия сплавов

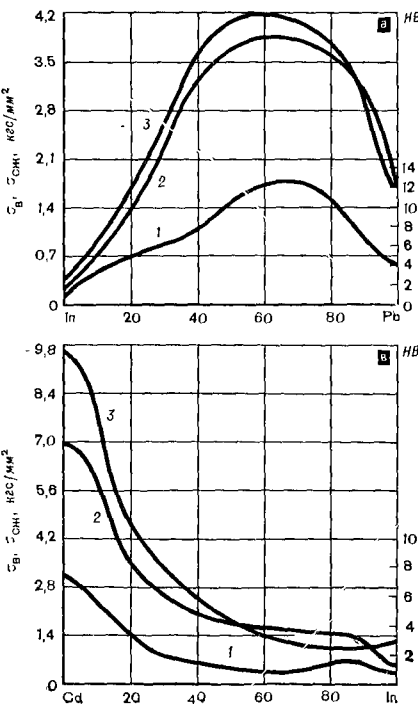
Марка сплава	Содержание элементов, %				
	In	Sn	Bi	Cd	Pb
Л47	19,0	8,2	45,0	5,3	22,5
Л58	21,0	12,0	49,0	—	18,0

Таблица 2. Свойства индия сплавов

Марка сплава	ρ , г/см ³	$t_{пл}$, °C	$\sigma_{в}$, кгс/мм ²	δ , %	НВ
Л47	8,95	47	3,8	1,5	12
Л58	8,31	58	6,3	50,0	14

используют в системах пожарной сигнализации, как особо легкоплавкие припои. И. с., содержащий 50% In, применяют для соединения стекла со стеклом или металлом. Разработан индиевый припой на основе меди для соединения металла с керамикой. Припои, содержащие не менее 25% In (остальное свинец и олово), обладают высокой стойкостью к действию щелочных растворов. Их применяют для пайки хим. аппаратуры, эксплуатируемой в хим. агрессивных средах. И. с. с галлием, характеризующиеся низкой t -рой плавления и высокой пластичностью, служат смазкой для подвижных частей электровакуумных приборов. Сплав Вуда с добавкой 19,1% In применяют в предохранителях, термоограничителях и сигнальных приборах (см. также Вуда сплав). Некоторые И. с. используют для тонкой облицовки подшипников скольжения. В атомной

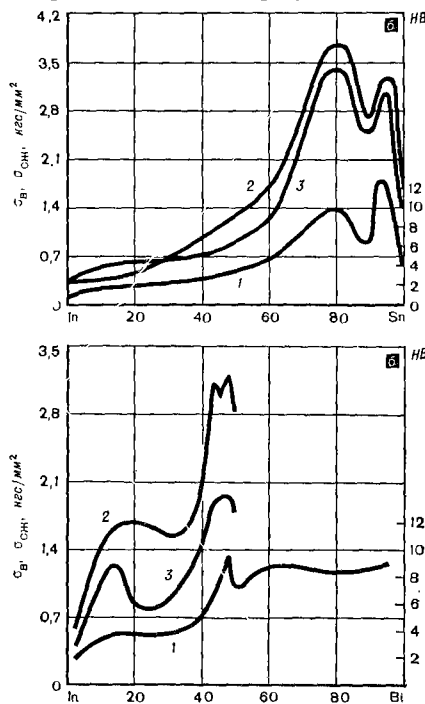
Механические свойства сплавов индия со свинцом (а), оловом (б), кадмием (в) или висмутом (г); 1 — НВ (нагрузка 5 кг); 2 — σ_B ; 3 — $\sigma_{СЖ}$.



технике легкоплавкие И. с. — основа радиационного контуростроения. Стойкость против коррозии, повышенная поверхностная прочность и хорошие декоративные качества обусловили применение сплавов индия с медью, серебром, золотом, а также кадмием и цинком в ювелирном и зубоврачебном деле.

Лит.: Влешинский С. В., Абрамова В. Ф. Химия индия. Фрунзе, 1958; Справочник по машиностроительным материалам, т. 2. М., 1959; Филлянд М. А., Семенова Е. И. Свойства редких элементов (Справочник). М., 1964; Ривлин Ю. И., Коротков М. А., Черныльский В. Н. Металлы и их заменители. Справочник. М., 1973. С. И. Стельмах.

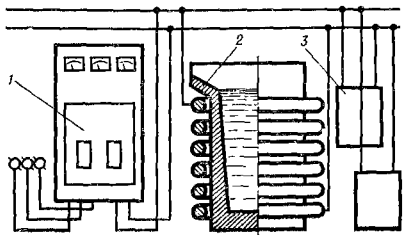
ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ — нагрев электропроводных материалов (проводников) в переменном электромагнитном поле. Применяется с конца 19 в. При И. н. в проводнике возникают индуцированные токи, к-рые разогревают материал. Ферромагнитные материалы в электромагн. поле нагреваются также в результате пе-



ремагничивания (гистерезиса), однако почти всегда влияние тепла перемангничивания не существенно. Характеристики устройств для И. н. зависят от параметров электромагн. поля (частоты, магн. напряженности) и нагреваемого материала (удельного электрического сопротивления, относительной магнитной проницаемости), а также от конфигурации электромагн. поля и нагреваемого тела. Для плоского полубесконечного тела и плоской электромагн. волны поглощаемую удельную мощность p [квт/м²] рассчитывают по формуле $p = 10^{-6} H^2 \sqrt{\rho/\mu f}$, где H — амплитуда напряженности магн. поля, а/м; ρ — удельное электр. сопротивление материала, ом · м; μ — относительная магн. проницаемость материала; f — частота поля, гц. Выделение мощности в нагреваемом теле при И. н. неравномерно: наибольшая мощность выделяется в поверхностном слое. Слой материала, в к-ром выделяется около 87% поглощаемой мощности, наз. глубиной проникновения электромагн. волны Δ [м]. Эту глубину определяют по формуле $\Delta = 503 \sqrt{\rho/\mu f}$. Электромагн. поле для нагрева создается при протекании переменного тока по индуктирующему проводу (индуктору), к-рый обычно представляет собой медную трубку и охлаждается водой; иногда применяют медные и алюминиевые индукторы с естественным охлаждением. Конфигурация индуктора соответствует форме нагреваемого тела. Установка для И. н. (рис.) состоит из источника питания — трансформатора (при частоте 50 гц) или преобразователя частоты (см. *Высокочастотный нагрев*); собственно нагревательного устройства, осн. элементом к-рого является индуктор; конденсаторной батареи для повышения коэфф. мощности. И. н. широко применяют для плавки и нагрева металлов. Индукционную плавку используют в процессе получения стали, чугуна, никеля, меди, алюминия, сплавов на их основе и др. чистых металлов и сплавов с миним. угаром. Индукционные канальные печи по принципу действия аналогичны

трансформатору, вторичной обмоткой к-рого является расплавленный металл, и работают на частоте 50 гц. В индукционных тигельных печах, эксплуатируемых на низких и средних частотах (а малые печи и на высоких), есть цилиндрический индуктор, внутри к-рого размещен тигель с расплавленным металлом. Для получения спец. сплавов используют вакуумные тигельные печи (вакуум до 10^{-3} мм рт. ст.). К спец. видам индукционной плавки относятся плавка в холодном тигле, плавка в гарнисаже (тонком слое застывших в металлург. агрегате продуктов), зонная плавка и плавка во взвешенном состоянии. Индукционные нагревательные установки применяют для нагрева металлов перед обработкой давлением, а также для термообработки (см. *Высокочастотная закалка*), сварки и пайки материалов и т. д. Широко применяют низкотемпературный И. н. стали на частоте 50 гц (отпуск, сушка покрытий, нагрев под посадку и т. п.). В установках для нагрева перед обработкой давлением, где используют низкую и средние частоты, нагревают сталь, цветные (медь, алюминий и их сплавы) и тугоплавкие (молибден, вольфрам) металлы. Установки выполняются как периодического, так и непрерывного действия и отличаются высокой производительностью. К преимуществам И. н. относятся значительная концентрация мощности, высокая производительность, малый угар металла, хорошее перемешивание металла при плавке и в результате действия электродинамических сил, незначительный перегрев поверхнос-

Блок-схема установки индукционного нагрева для плавки металлов: 1 — источник питания (тиристорный преобразователь частоты); 2 — индукционная тигельная плавильная печь; 3 — конденсаторная батарея.



заготовок, легкость автоматизации, небольшие производственные площади, занимаемые установками, хорошие санитарно-гигиенические условия труда. См. также *Скоростной нагрев*.

Лит.: Бабат Г. И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение. М.—Л., 1965; Электротермическое оборудование. Справочник. М., 1967; Вайнберг А. М. Индукционные плавильные печи. М., 1967; Пиростяков А. А. Индукционные нагревательные установки. М., 1970; Слухоцкий А. Е., Рыскин С. Е. Индукторы для индукционного нагрева. Л., 1974. А. В. Кувалдин.

ИНДУКЦИЯ НАСЫЩЕНИЯ (лат. *inductio* — наведение, возбуждение) — магн. индукция при такой напряженности магн. поля, когда намагниченность материала становится максимальной. Для большинства материалов абс. магн. насыщение неосуществимо, для остальных — возможно в очепь сильных полях, когда намагниченность насыщения J_0 не зависит от поля. *Магнитные материалы*, гл. обр. магнитно-мягкие, характеризуются индукцией технического насыщения B_s — магн. индукцией, при к-рой намагниченность материала достигает значения технического насыщения J_s — состояния, когда векторы намагниченности всех доменов ориентируются в направлении намагничивающего поля с напряженностью H_s . С увеличением напряженности поля петли гистерезиса остаются одинаковыми. И. н. зависит только от природы ферромагнитных фаз магн. материала и не зависит от технологии мех. обработки. В размагниченном состоянии при т-рах, не превышающих *Кюри точку*, каждый домен ферромагнетика благодаря действию внутрикристалличе-

ского поля находится в состоянии магн. насыщения с намагниченностью J_s , причем векторы намагниченности доменов расположены равномерно по всем направлениям. Под действием возрастающего магн. поля вначале увеличивается обем тех доменов, векторы намагниченности к-рых образуют наименьший угол с направлением поля, затем векторы намагниченности доменов принимают направление, параллельное намагничивающему полю. При техническом насыщении направление всех векторов намагниченности совпадает с направлением поля и индукция достигает значения B_s . В дальнейшем индукция растет в результате увеличения намагничивающего поля и парапроцесса — весьма незначительного возрастания намагниченности, вызванного направляющим воздействием внешнего поля на дезориентированные тепловым движением магн. моменты атомов. С приближением т-ры к точке Кюри Θ влияние парапроцесса на величину индукции резко возрастает и понятие «техническое насыщение» теряет смысл. Лишь при т-рах, близких к абс. нулю, индукция технического насыщения совпадает с абс. индукцией насыщения. С увеличением т-ры И. н. монотонно уменьшается в соответствии с падением намагниченности по закону Вейса

$$\frac{J_s}{J_0} = \text{th } \frac{J_s/J_0}{T/\Theta}$$

Индукция технического насыщения (табл.) — важная характеристика

Состав, индукция технического насыщения и напряженность насыщающего магнитного поля магнитно-мягких материалов

Материал	Состав, %	$B_s, \text{зс}$	$H_s, \text{э}$
Сплав железо — кобальт	64,5 Fe; 35 Co; 0,5 Cr	24 000	125
Технически чистое железо	100 Fe	21 800	630
Электротехническая сталь	99 Fe; 1 Si	21 600	630
Марганцовоцинковые ферриты	70 ÷ 72,3 Fe ₂ O ₃ ; 14,5 ÷ 21,3 MnO; 6,2 ÷ 15,6 ZnO	2500—4000	10
Никелевоцинковые ферриты	65 ÷ 67 Fe ₂ O ₃ ; 10 ÷ 11,5 NiO; 22,5 ÷ 23,2 ZnO	1400—2600	10

магнитно-мягких материалов, способных намагничиваться до насыщения уже в слабых полях.

Низкая I_n ограничивает рабочие магн. потоки и вызывает нелинейность характеристик у различных устройств с магн. цепями (реле, электродвигателей, электромагнитов). Материалы с высокой I_n и выпуклой кривой намагничивания (напр., сплавы кобальта с железом) используют для концентраторов магн. потока, что обусловлено низким значением H_s этих материалов. Снижение I_n у ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса позволяет уменьшить нагрев сердечников при импульсном перемагничивании и работать на более высоких частотах. С этой целью, напр., в марганцово-магнетиновый феррит вводят немного (несколько процентов) окиси скандия, что позволяет без изменения коэрцитивной силы уменьшить I_n в 2—2,5 раза (до 1000 гс), сохраняв прямоугольность петли гистерезиса. I_n материалов со средней и высокой коэрцитивной силой определяют в спец. электромагнитах — пермеометрах, обеспечивающих при помещении в них стержневых или полосовых образцов получение замкнутой магн. цепи и необходимой величины намагничивающего поля. I_n образцов разомкнутой формы определяют в различного типа магнетометрах (вибрационных, маятниковых, аstaticеских), а также методами Вейса — Форера или Кондорского — Федотова, заключающимися в том, что образец, находящийся в магн. поле соленоида или электромагнита, быстро удаляют из системы катушек, соединенных с флюксметром.

Лит.: Чечерников В. И. Магнитные измерения. М., 1969; Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971; Преображенский А. А. Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы. М., 1972; Преображенский А. А. Магнитные материалы и элементы. М., 1976.

Л. Н. Тульчинский.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СТАЛЬ (от лат. instrumentum — орудие, инструмент) — сталь, отличающаяся высокой или повышенной твердостью и износостойкостью. Используется преим. для изготовления штамповых,

режущих и измерительных инструментов, некоторых деталей машин, эксплуатируемых при небольших или умеренных динамических нагрузках. Относится к углеродистым сталям и легированным сталям. По структуре близка к эвтектоидным и заэвтектоидным сталям. I_n с. подразделяют на нетеплостойкие стали, высокая твердость и износостойкость к-рых не изменяется до t -ры 200—250° С; полутеплостойкие стали, сохраняющие высокую твердость и износостойкость до t -ры 350—500° С, и теплоустойчивые стали, у к-рых высокие прочность, твердость и износостойкость не изменяются до t -ры 625—725° С (табл. 1). В каждой из них различают стали высокой твердости и повышенной вязкости. I_n с. подвергают закалке (табл. 2 на с. 505) и отпуску, что повышает твердость (до 60—70 HRC), прочность на изгиб (до 350—400 кгс/мм²), износостойкость и теплостойкость. Нетеплостойкие I_n с. высокой твердости относятся к заэвтектоидным сталям. Структура в отожженном состоянии — зернистый перлит и вторичный цементит. Из них изготавливают, напр., напильники (сталь марок У13А и 13Х), метчики и развертки (сталь марок У10А, У11А и У12А) для резания мягких материалов, вырубные (7ХГ2ВМ) и вытяжные (ХВСГ) штампы холодного деформирования мягких материалов, измерительные инструменты (Х и 12Х1). Инструментальная легированная сталь марки 7ХГ2ВМ отличается высокой прокаливаемостью и закаливаемостью. В сечениях диаметром до 100—120 мм твердость такой стали — 58—60 HRC при охлаждении на воздухе. Деформация инструментов из стали марки 7ХГ2ВМ — минимальна. Прокаливаемость стали марок 9ХС и ХВСГ — соответственно 40—50 и 70—80 мм. Нетеплостойкие I_n с. высокой твердости закаливают с относительно низких t -р, при к-рых еще не происходит значительный рост зерна (величина его составляет 9—10 баллов) и снижение прочности. После закалки структура стали состоит из мартенсита (0,65—0,8% С в растворе), вторичного цементита и остаточного аустенита (до 20%). Отпуск проводят при таких t -рах, чтобы концентрация углерода в мартенсите

Таблица 1. Химический состав инструментальных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %						
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	Прочие
Нетеплостойкие стали высокой твердости							
У10	0,95—1,04	0,15—0,35	0,15—0,35	До 0,20	—	—	—
У10А	0,95—1,04	0,15—0,30	0,15—0,35	До 0,15	—	—	—
У11	1,05—1,14	0,15—0,35	0,15—0,35	До 0,20	—	—	—
У11А	1,05—1,14	0,15—0,30	0,15—0,35	До 0,15	—	—	—
У12	1,15—1,24	0,15—0,35	0,15—0,35	До 0,20	—	—	—
У12А	1,15—1,24	0,15—0,30	0,15—0,35	До 0,15	—	—	—
У13	1,25—1,35	0,15—0,35	0,15—0,35	До 0,20	—	—	—
У13А	1,25—1,35	0,15—0,30	0,15—0,35	До 0,15	—	—	—
8ХФ	0,70—0,80	0,15—0,40	0,15—0,35	0,40—0,70	—	—	0,15—0,30V
9ХФ	0,80—0,90	0,30—0,60	0,15—0,35	0,40—0,70	—	—	0,15—0,30V
11ХФ	1,05—1,15	0,40—0,70	0,15—0,35	0,40—0,70	—	—	0,15—0,30V
13Х	1,25—1,40	0,30—0,60	0,15—0,35	0,40—0,70	—	—	—
Х	0,95—1,10	0,15—0,40	0,15—0,35	1,30—1,65	—	—	—
12Х1	1,15—1,25	0,30—0,60	0,15—0,35	1,30—1,65	—	—	—
ХВCF	0,95—1,05	0,60—0,90	0,65—1,10	0,60—1,10	0,50—0,80	—	0,05—0,15V
9ХС	0,85—0,95	0,30—0,60	1,20—1,60	0,95—1,25	—	—	—
7ХГ2ВМ	0,68—0,76	1,80—2,30	0,20—0,40	1,50—1,80	0,75—0,90	0,50—0,80	0,10—0,25V
Нетеплостойкие стали повышенной вязкости							
У7	0,65—0,74	0,20—0,40	0,15—0,35	До 0,20	—	—	—
У7А	0,65—0,74	0,15—0,35	0,15—0,35	До 0,15	—	—	—
7ХФ	0,63—0,73	0,30—0,60	0,15—0,35	0,40—0,70	—	—	0,15—0,30V
6ХС	0,60—0,70	0,15—0,40	0,60—1,00	1,00—1,30	—	—	—
6Х3ФС	0,56—0,62	0,15—0,40	0,40—0,70	2,60—3,30	—	0,20—0,30	0,20—0,50V
7Х3	0,65—0,75	0,15—0,40	0,15—0,35	3,20—3,80	—	—	—
Полутеплостойкие стали высокой твердости износостойкие							
Х6ВФ	1,05—1,15	0,15—0,40	0,15—0,35	5,50—6,50	1,10—1,50	—	0,50—0,80V
Х12Ф1	1,25—1,45	0,15—0,40	0,15—0,35	11,00—12,50	—	—	0,70—0,90V
Х12М	1,45—1,65	0,15—0,40	0,15—0,35	11,00—12,50	—	0,40—0,60	0,15—0,30V
Х6Ф4М	1,70—1,80	0,15—0,40	0,30—0,60	6,0—6,50	—	0,60—0,90	3,50—4,00V
Х12	2,00—2,20	0,15—0,40	0,15—0,35	11,50—13,00	—	—	—
Х12ВМ	2,00—2,20	0,15—0,40	0,20—0,40	11,00—12,50	0,50—0,80	0,60—0,90	0,15—0,30V
Х12Ф4М (ДИ-51)	1,85—2,00	0,15—0,40	0,20—0,40	12,00—13,00	—	0,60—0,80	3,88—4,30V
Полутеплостойкие стали высокой твердости с повышенным сопротивлением пластическому деформированию							
6Х6В3МФС	0,50—0,60	0,15—0,40	0,60—0,90	5,50—6,50	2,50—3,20	0,60—0,90	0,50—0,80V
6Х4М2ФС (ДИ-55)	0,57—0,65	0,20—0,50	0,60—0,90	3,80—4,40	—	2,00—2,40	0,60—0,80V
Полутеплостойкие стали повышенной вязкости							
5ХНМ	0,50—0,60	0,50—0,80	0,15—0,35	0,50—0,80	—	0,15—0,30	1,40—1,80 Ni
5ХГМ	0,50—0,60	1,20—1,60	0,25—0,60	0,60—0,90	—	0,15—0,30	—
5ХНВ	0,50—0,60	0,50—0,80	0,15—0,35	0,50—0,80	0,40—0,70	—	1,40—1,80 Ni
5ХНВС	0,50—0,60	0,30—0,60	0,60—0,90	1,30—1,60	0,40—0,70	—	1,40—1,80 Ni
4ХСМФ	0,37—0,45	0,50—0,80	0,50—0,80	1,50—1,80	—	0,90—1,20	0,30—0,50 Ni
27Х2НМВФ	0,25—0,32	0,50—0,80	0,17—0,37	2,00—2,50	0,40—0,60	0,40—0,60	1,40—1,80 Ni 0,20—0,30 V

Марка стали	Содержание элементов, %						
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	Прочие
Теплостойкие стали повышенной вязкости и умеренной теплостойкости (штамповые)							
4Х3ВМФ	0,40—0,48	0,30—0,60	0,60—0,90	2,80—3,50	0,60—1,00	0,40—0,60	0,60—0,90 V
Теплостойкие стали повышенной вязкости и теплостойкости							
3Х3М3Ф	0,27—0,34	0,30—0,50	0,20—0,40	2,80—3,50	—	2,50—3,00	0,40—0,60 V
4Х5МФС	0,32—0,40	0,15—0,40	0,80—1,20	4,50—5,50	—	1,20—1,50	0,30—0,50 V
4Х5МФ1С	0,37—0,44	0,15—0,40	0,80—1,20	4,50—5,50	—	1,20—1,50	0,30—0,40 V
4Х5В2ФС	0,35—0,45	0,15—0,40	0,80—1,20	4,50—5,50	1,60—2,20	—	0,60—0,90 V
4Х4М2ВФС	0,37—0,44	0,20—0,50	0,16—1,00	3,20—4,00	0,80—1,20	1,20—1,50	0,60—0,90 V
3Х2В8Ф	0,30—0,40	0,15—0,40	0,15—0,40	2,30—2,70	7,50—8,50	—	0,20—0,50 V
5Х3В3МФС	0,45—0,52	0,30—0,60	0,50—0,80	2,50—3,20	3,00—3,60	0,80—1,10	1,50—1,80 V 0,05—0,15 Nb
Теплостойкие стали повышенной вязкости и высокой теплостойкости							
2Х6В8М2К8	0,22—0,30	0,30—0,60	0,20—0,40	6,5—7,0	7,50—8,50	1,80—2,30	—

Примечание: Углеродистые стали указаны по ГОСТу 1435—75, легированные стали — по ГОСТу 5952—73, стали с маркировкой ДИ и сталь марки 27Х2НМВФ — по техническим условиям. В углеродистых сталях (в листе и ленте толщиной до 2,5 мм) и в шлифованной стали (серебрянке) содержится 0,20—0,40% Cr (качественные) и 0,20—0,35% Cr (высококачественные). Допускается не более 0,25% Ni в качественных и более 0,20% Ni в высококачественных сталях. Содержание серы и фосфора не должно превышать в легированных сталях 0,030% каждого элемента; в углеродистых качественных — 0,030% S и 0,035% P; в высококачественных сталях — 0,020% S и 0,030% P.

уменьшилась не более чем до 0,3—0,4%. Такой отпуск снимает большую часть закалочных напряжений, сохраняет остаточный аустенит, повышает прочность, вязкость, немного снижает твердость (рис. на с. 506). Нетеплостойкие И. с. повышенной вязкости по структуре близки к эвтектоидным сталям. Исходная структура — перлит или перлит с небольшим количеством феррита. Их применяют преим. для изготовления деревообрабатывающих инструментов: пил (7ХФ), топоров (У7), фрез (6ХС), чеканочных штампов (6Х3ФС, 7Х3). При закалке сталь охлаждают в воде, в масле (легированные стали) или (для повышения вязкости) в горячих средах (т-ра 300—350° С) в течение 30—40 мин, а затем на воздухе (см. *Изотермическая закалка*). Структура после изотермической закалки состоит из бейнита и остаточного аустенита. Длинные и тонкие инструменты (пилы, пожи) для предупреждения

деформации выдерживают в масле 30—40 сек и охлаждают в штампе. Отпуск нетеплостойких И. с. повышенной вязкости проводят при т-ре 180—200° С, получая твердость до 59—61 HRC (для режущих инструментов и чеканочных штампов), и при т-ре 300—350° С, получая твердость до 45—50 HRC (для др. инструментов). После изотермической закалки проводят отпуск (т-ра 150° С). Полутеплостойкие И. с. высокой твердости подразделяют на износостойкие стали, содержащие значительное количество (до 18—24 об. %) избыточных твердых карбидов M_7C_3 (≈ 1500 HV) и частично MC (~ 2000 HV), и на стали с повышенным сопротивлением пластическому деформированию. В структуре износостойких сталей после закалки и низкотемпературного отпуска (т-ра 150—250° С), сохраняющего высокую твердость (58—62 HRC), содержится до 20% аустенита, претерпевающего частичное изотермическое пре-

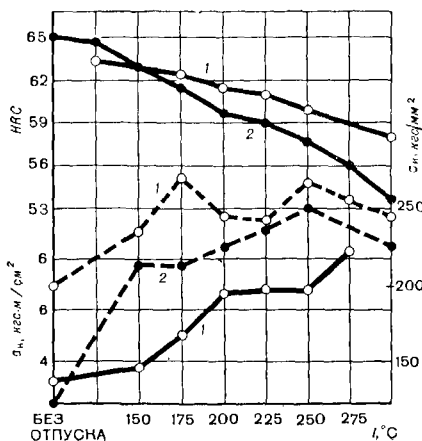
Таблица 2. Режим закалки инструментальных сталей

Марка стали	Температура нагрева, °C, при охлаждении			HRC при охлаждении	
	в воде (и водных растворах)	в масле и горячих средах (т-ра 150—180° C)	в горячих средах (т-ра 250—550° C)	в воде (и водных растворах)	в масле и горячих средах
Нетеплостойкие стали высокой твердости					
У10—У12	770—790	790—810	—	63—65	61—62
У13 (У13А)	770—790	790—810	—	63—65	62—64
8ХФ, 9ХФ	—	840—860	—	—	58—60
11ХФ, 13Х	810—830	—	—	62—63	—
Х	810—820	840—850	—	63—65	62—65
12Х1	810—820	845—860	—	64—66	63—65
ХВГ1	—	855—870	—	—	62—63
9ХС	—	865—875	—	—	61—63
7ХГ2ВМ	—	850—870	—	—	59—62
Нетеплостойкие стали повышенной вязкости					
У7 (У7А)	780—800	800—820	—	61—63	59—62
7ХФ	810—830	820—840	—	62—64	59—62
6ХС	—	890—920	—	—	58—60
6Х3ФС	—	940—960	—	—	59—60
7Х3	—	830—860	—	—	59—61
Полутеплостойкие стали высокой твердости					
Х6ВФ	—	960—990	—	—	61—63
Х12Ф1	—	1020—1050	—	—	61—63
Х12М, Х12ВМ	—	1000—1030	—	—	62—63
Х12Ф4М (ДИ-51)	—	1070—1090	—	—	62—63
Х6Ф4М	—	1000—1020	—	—	62—64
6Х6В3МФС	—	1070—1090	—	—	58—61
6Х4М2ФС	—	1060—1080	—	—	60—62
Полутеплостойкие стали повышенной вязкости					
5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ	—	820—860	—	—	56—57
5ХНВС	—	840—860	—	—	56—57
4ХСМФ	—	850—880	—	—	55—57
27Х2НМВФ	—	950—975	—	—	55—57
Теплостойкие стали повышенной вязкости					
4Х3ВМФ	—	1060—1070	—	—	54—56
3Х3М3Ф	—	1040—1060	—	—	48—50
4Х5МФС, 4Х5МФ1С	—	1050—1080	1060—1090	—	58—60
4Х5В2ФС	—	1060—1080	1070—1090	—	52—54
4Х4М2ВФС	—	1050—1070	1060—1080	—	56—58
3Х2В8Ф	—	1080—1110	—	—	54—56
5Х3В3МФС	—	1120—1150	—	—	52—56
2Х8В8М2КФ8	—	1180—1200	—	—	58—59

вращение в рабочей кромке под напряжением, что повышает износостойкость. Стали марок Х12Ф1, Х6ВФ и Х12М (карбидной фазы M_7C_3 содержится до 16—17 об.%) отличаются повышенной износостойкостью и удовлетворительной шлифуемостью. Они предназначены для деформирования конструкционных сталей и электротехнических сталей. Стали марок Х6Ф4М, Х12ВМ и Х12Ф4М содержат в структуре более твердые карбиды. Так, в стали марки Х12Ф4М — 19—20 об.% M_7C_3 и приблизительно 4 об.% MC . Преимущество этих сталей — высокая износостойкость при обработке более твердых металлов. Однако они хуже шлифуются обычными абразивными материалами из-за наличия карбидов ванадия. Из износостойких сталей изготавливают вырубные и вытяжные штампы и др. детали, стойкие против повышенного изнашивания. Полутеплостойкие стали высокой твердости с повышенным сопротивлением пластическому деформированию марок 6ХВ3МФС и 6Х4М2ФС для изотермического превращения аустенита подвергают закалке на вторичную твердость с нагревом до повышенных t_r и отпуску (двух-, трехкратному) при $t_{от}$ 540—550°С. Из этих сталей изготавливают штампы холодной высадки и прессования и накатные инструменты. Полутеплостойкие И. с. повышенной вязкости — эвтектоидные стали. Их легируют никелем и марганцем, увеличивающими прокаливаемость и закаливаемость, но не образующими избыточных карбидов и не ухудшающих вязкость (до 5—6 кгс·м/см² при твердости 45—48 HRC). Карбидообразующие элементы (хром, молибден, вольфрам) вводят в небольших количествах, необходимых лишь для повышения стойкости стали и цементитного карбида против разупрочнения при нагреве. Из полутеплостойких сталей повышенной вязкости изготавливают штампы горячего деформирования (молотовые штампы) и контейнеры. После закалки их подвергают отпуску на твердость 40—44 HRC (крупные штампы) и 45—50 HRC (более мелкие штампы). Теплостой-

кие И. с. высокой твердости (см. *Быстрорежущая сталь*) используют для изготовления режущих инструментов. Теплостойкие стали повышенной вязкости по структуре близки к эвтектоидным. Для увеличения вязкости их отпускают на твердость 45—50 HRC. Такие стали используют для изготовления штампов горячего прессования, высадки и штампования. Умеренной теплостойкостью характеризуется сталь марки 4Х3ВМФ, содержащая карбиды $M_{23}C_6$. Твердость (45 HRC) и предел текучести (95—100 кгс/мм²) этой стали вследствие низкого содержания вольфрама и молибдена сохраняются при нагреве не выше t_r 500—525°С. Сталь менее чувствительна к отрицательному влиянию масштабного эффекта, ее ударная вязкость (3—4 кгс·м/см²) не изменяется в сечениях диаметром 250—300 мм. Из стали марки 4Х3ВМФ изготавливают молотовые штампы небольших размеров. Стали повышенной теплостойкости не изменяют твердость (45 HRC) и предел текучести (до 95—100 кгс/мм²) при нагреве до t_r 550—600°С (стали марок 3Х3М3Ф, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 4Х5В2ФС и 4Х4М2ФС) и 600—620°С (стали марок 5Х3В3МФС, 3Х2В8Ф). Из стали марки 3Х3М3Ф (с более низким содержанием углеро-

Зависимость твердости, вязкости (сплошные линии) и прочности (штриховые линии) теплостойких инструментальных сталей высокой твердости от температуры отпуска: 1 — сталь марки ХВСГ; 2 — сталь марки У11А.



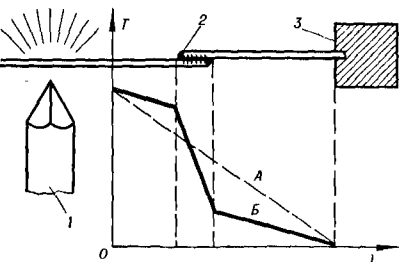
да и лучшей вязкостью) изготавливают штампы и небольшие формы для литья под давлением, подвергающиеся интенсивному охлаждению. Стали марок 4Х5МФС, 4Х5МФ1С и 4Х4М2ФС применяют для изготовления штампов высадки и прессования, молотовых штампов диаметром до 200—250 мм и форм для литья алюминиевых, цинковых и медных сплавов. Из стали марки 4Х5МФ1С изготавливают формы для литья отливок более крупных размеров. Сталь марки 5Х3В3МФС отличается высокой износостойкостью, но меньшей вязкостью. Из нее изготавливают прошивные пуансоны и матрицы, эксплуатируемые без интенсивного охлаждения. Стали повышенной теплостойкости подвергают отпуску при t -ре 580—620°С, их твердость 45—48 HRC. У стали высокой теплостойкости (2Х6В8М2К8) твердость (45 HRC) и предел текучести не изменяются при нагреве до t -ры 700—720°С. Из нее изготавливают штампы для прессования и выдавливания труднодеформируемых сплавов (жаропрочных, кислотостойких и конструкционных сталей повышенной прочности), для горячего штампования сплавов повышенной прочности.

Лит.: Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., 1975; Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали. Справочник. М., 1975. Ю. А. Геллер.

ИНТЕРКРИСТАЛЛИТНАЯ КОРРОЗИЯ (от лат. inter — между) — то же, что и межкристаллитная коррозия.

ИНФРАКРАСНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ (от лат. infra — под, ниже) — дефектоскопия, основанная на ис-

Схема контроля сварного соединения методом инфракрасной дефектоскопии: 1 — нагреватель; 2 — сварное соединение; 3 — устройство для отвода тепла.



ИНФРАКРАСНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

пользовании инфракрасного излучения. Применяется с середины 50-х гг. 20 в. При И. д. дефект может быть обнаружен, если t -ра вблизи дефектного участка отличается от t -ры соседних (недефектных) участков хотя бы на несколько десятых долей градуса. Чтобы достичь этого, в контролируемом изделии (напр., в сварных и паяных соединениях) создают температурный градиент, прибегая к температурному возбуждению внешним нагревателем или к нагреву рассеянием электр. энергии на дефектах при внутреннем электр. возбуждении. Плавное изменение t -ры в изделии (рис., кривая А) свидетельствует, что дефектов в месте сварки (пайки) нет. Большой температурный градиент, обусловленный высоким тепловым сопротивлением зоны соединения (рис., кривая Б), указывает на наличие дефекта (непровара, непроварная, трещины или расслоения). Инфракрасное излучение контролируемого изделия измеряют с помощью фотоэлементов или фоторезисторов, фотографическим и фосфографическим методами, а также болометрами, в к-рых излучение фокусируется на резистор с высоким температурным коэфф. сопротивления одного из плеч измерительного моста (нагревая резистор, излучение тем самым нарушает равновесие моста). Кроме того, используют термоэлементы, которые при нагреве излучением генерируют термоэдс, а также радиометры, чувствительные к давлению излучения. Такими методами контролируют качество изделий любой конфигурации. Регистрация формы дефекта, измерение температурных полей и обнаружение макс. температурных градиентов области предполагаемых дефектов проводятся по определенной методике. Для этого исследуемое изделие сканируется растром с определенным числом линий. В нек-рых приборах сканирование осуществляется установленным перед объективом плоским зеркалом, поворачиваемым на небольшой угол ($\sim 3^\circ$). Созданы установки, дающие возможность сканировать интегральные схемы, площадь поверхности к-рых менее 1 мм². Оптическим блоком такой установки

служит инфракрасный микроскоп, электронный блок состоит из усилителей, индикатора, устройств контроля и обработки данных. В оптическом блоке установки есть два канала — инфракрасный и визуальный. Инфракрасный канал содержит обычные элементы инфракрасного пирометра: зеркальный объектив, модулятор и приемник излучений. Визуальный канал состоит из германиевого зеркала, отражающего видимое излучение в сторону окуляра и пропускающего инфракрасное излучение в сторону приемника. В этом канале есть также оптика для освещения изделия. Для калибровки используется опорная разность т-р, определяемая эталонным источником излучения (малогобаритным черным телом), оптический сигнал от которого периодически вводится спец. зеркальным модулятором. Электронный блок содержит схемы для усиления и формирования сигнала, идущего с выхода приемника. Индикаторное устройство дает яркостную картину или кривые температурных профилей по отдельным строкам. Тепловое разрешение такой установки 0,5—1° С (на уровне 300° С), линейное разрешение 10 мкм, скорость скапирования до 100 линий/сек, подробность кадра до 100 линий и более, оптическое увеличение 7,6—14, глубина резкости ± 20 мкм. И. д. применяют в машиностроении, электронной технике, при разработке новых интегральных схем (особенно больших), где контроль др. способами мало эффективен, при производстве печатных плат, транзисторов, гибридных и пленочных схем.

Лит.: Марков М. Н. Приемники инфракрасного излучения. М., 1968; Назаров Г. В., Гревцев Н. В. Сварка и пайка в микроэлектронике. М., 1969; Козелкин В. В., Усольцев И. Ф. Основы инфракрасной техники. М., 1974; Хадсон Р. Инфракрасные системы. Пер. с англ. М., 1972. А. А. Россошинский.

ИРИДИЙ [Iridium; от греч. ἶρις (iris) — радуга], Ir — хим. элемент VIII группы периодической системы элементов; ат. н. 77, ат. м. 192, 22; относится к металлам группы платины. Серебристо-белый твердый металл. В соединениях проявляет сте-

пени окисления + 3 и + 4, иногда + 1, + 2 и + 6. Природный И. — смесь стабильных изотопов ^{191}Ir (38,5%) и ^{193}Ir (61,5%). Получены радиоактивные изотопы с массовыми числами от 171 до 198. И. открыл в 1804 англ. химик С. Теннант в черном осадке, образующемся после обработки платины самородной «царской водкой». Содержание И. в земной коре $1 \cdot 10^{-7}\%$. Находится в при-

роде гл. обр. в виде минералов группы осмистого иридия (природных сплавов иридия с осмием и другими металлами группы платины), встречающихся в коренных и россыпных месторождениях платины и золота. Наиболее широко распространен пелит, или осмистый иридий. И. содержится также в сульфидных медноникелевых рудках, являющихся основным источником добычи металлов группы платины. И. кристаллизуется в графцентрированной кубической структуре, период решетки $a = 3,8389 \text{ \AA}$ (при комнатной т-ре). Плотность (т-ра 20° С) 22,5 (рентгеновская 22,65) г/см³; $t_{\text{пл}}$ 2443° С; $t_{\text{кип}}$ 4547° С; удельная теплоемкость (т-ра 25° С) 0,0312 кал/г · град; коэфф. теплопроводности (т-ра 0—100° С) 0,354 кал/см · сек · град; температурный коэфф. линейного расширения в интервале т-р 0—100° С составляет $6,63 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; удельное электрическое сопротивление (т-ра 20° С) 5,3 мком · см; температурный коэфф. электрического сопротивления (т-ра 0—100° С) $0,003925 \text{ град}^{-1}$; удельная магнитная восприимчивость (т-ра 25° С) $0,133 \cdot 10^{-6}$. Поперечное сечение захвата тепловых нейтронов 440 барн. Модуль норм. упругости 52 500 кгс/мм²; коэфф. Пуассона 0,26; предел прочности на растяжение отожженного металла 23 кгс/мм²; относительное удлинение 2%; $HV = 200\text{—}240$ (в отожженном состоянии). При обычной т-ре с трудом поддается мех. обработке, при т-ре 1200—1500° С его можно ковать и протягивать в проволоку. В монокристаллическом состоянии пластичен уже при комнатной т-ре, выдерживает без растрескивания обжатие до 25%. И. — труднолетучий в высоком вакууме металл (давление насы-

цнного пара его при т-ре 1810° С составляет $1 \cdot 10^{-6}$, при т-ре 2110° С — $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.). Однако при нагревании на воздухе уже при светлокрасном калении заметно улетучивается, что связано с образованием летучей окиси IrO₂. И. отличается высокой коррозионной стойкостью. В виде компактного металла нерастворим в к-тах, лишь в тонкодисперсном состоянии при повышении температуры медленно растворяется в «царской водке». При сплавлении иридиевого порошка со смесью едкого натра и селитры либо перекисью натрия переходит в растворимые в соляной к-те соединения. Губчатый И. может быть переведен в раствор электролитически с использованием переменного тока. Фтор, хлор и кислород действуют на И. только при т-ре красного каления. Из кислородных соединений известны Ir₂O₃ и IrO₂. При взаимодействии с хлором (в зависимости от т-ры) образуются хлориды IrCl, IrCl₂, IrCl₃, с фтором — фторид IrF₆, с серой — сульфид IrS. С азотом не взаимодействует, растворимость водорода в И. составляет $1 \cdot 10^{-5}$ ат.%. И. образует многочисленные комплексные соли. Особенно большое значение имеют комплексные хлориды трех- и четырехвалентного иридия. Незначительная растворимость хлоридата аммония (NH₄)₂ [IrCl₆] в растворе NH₄Cl используется в аффинаже иридия. И. сплавляется с большинством металлов. С переходными металлами образует широкие области твердых растворов на основе компонентов и промежуточных фаз со структурой типа CsCl, Cr₃Si и Cu₃Au. Иридиевая чернь обладает каталитической активностью. И. добывают совместно с платиной. Сырьем для его получения служат концентраты металлов группы платины, получаемые непосредственно из коренных руд и после переработки анодных шламов электролиза никеля и меди, а также плиховый металл из россыпных руд и вторичный металл — лом. Концентраты и металл растворяют в «царской водке», сначала на холоду, а затем при т-ре 110—120° С. И. при этом растворяется не полностью, частично оставаясь в нерастворимом осадке. После селективного

извлечения из раствора платины, палладия и родия иридий осаждают в виде хлоридата аммония. Нерастворимый остаток после растворения концентратов в «царской водке» переплавляют на цинковый (или свинцовый) сплав, к-рый затем растворяют в к-те. Образующийся при этом порошок, содержащий гл. обр. осмистый иридий и рутений, спекают с перекисью бария или натрия. Из спека отгоняют осмий в виде OsO₄, а из оставшегося после отгонки раствора извлекают И. в виде хлоридата аммония. Очищенный хлоридат аммония прокалывают и восстанавливают в токе водорода при т-ре 1000° С, получая иридиевый порошок чистотой 99,8—99,9%. Поставляют И. в виде порошка, жести, прутков и проволоки. Для изготовления иридиевых сплавов применяют дуговую или индукционную плавку в вакууме, в среде аргона или гелия. И. — редкий и дорогой металл. В чистом виде его применяют весьма ограниченно: в виде фольги для неамальгамирующихся катодов, для изготовления тиглей, иридирования поверхности изделий. Основную часть И. используют в виде сплавов, гл. обр. с платиной (он повышает ее твердость, прочность и коррозионную стойкость). Эти сплавы применяют для изготовления хим. посуды (в частности, тиглей, где выращивают кристаллы для лазерной техники), нерастворимых анодов, разрывных контактов и потенциометров автоматически управляемой аппаратуры, трущихся деталей точных инструментов, электроконтактов в двигателях внутреннего сгорания, слаботочных контактов аппаратуры связи, электр. стимуляторов сердечной деятельности, хирургических инструментов и ювелирных изделий. Из сплава иридия (10,1%) и платины (89,9%) изготовлены эталоны мер длины. Сплавы иридия с осмием, как и природный осмистый иридий, — незаменимый материал для изготовления осей и пяток вращающихся частей измерительных и регулирующих приборов особой точности, кончиков золотых перьев и режущих частей хирургических инструментов. И. и его сплавы

(напр., иридий — вольфрам) нашли применение в произ-ве термопар, эксплуатируемых до т-ры 2000—2300° С.

Лит.: Головин В. А., Ульянова Э. Х. Свойства благородных металлов и сплавов. М., 1964; Масленников И. Н., Чугаев Л. В. Металлургия благородных металлов. М., 1972; Савицкий Е. М. [и др.]. Металловедение платиновых металлов. М., 1975; Джаффи Р., Мейкат Д. Дж., Дуглас Р. У. Рений и тугоплавкие металлы платиновой группы. Пер. с англ. М., 1963; Tugwell G. L. Uses for noble metals in industry. «Metal Progress», 1965, v. 87, № 6; Реми Г. Курс неорганической химии. Пер. с нем. М., 1966.

Т. Д. Штепа.

ИСЛАНДСКИЙ ШПАТ (от назв. о. Исландия), CaSO_3 — минерал класса *карбонатов*. Прозрачная разновидность *кальцита*. Хим. состав (%): CaO — 56,0; CO_2 — 44,0. Содержит примеси магния, железа, марганца и стронция. Структура островная, сингония тригональная, вид симметрии дитригонально-скеленоэдрический. Наиболее характерны ромбоэдрические, скеленоэдрические, призматические и таблитчатые кристаллы. Спайность (см. *Спайность минералов*) по ромбоэдру $\{10\bar{1}1\}$. Характерны двойники. Плотность 2,711 г/см³. Твердость 3. Наряду с бесцветными в природе встречаются кристаллы, окрашенные в желтый, красновато-желтый, розовый, фиолетовый, зеленый и синеватый цвет (см. *Цвет минералов*). Черта белая. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянистый. Люминесцирует в ультрафиолетовых, катодных и рентгеновских лучах, при нагреве и дроблении прозрачен от 220 до 2200 нм. Разлагается при т-ре 825° С; легко растворим в к-тах. Достаточно распростран. Одноосный, отрицательный. Показатели преломления для длин волн 588,99 нм при т-ре 20° С: $n_o = 1,65838$; $n_e = 1,48645$; $n_o - n_e = 0,17193$. Образование И. ш. связано в основном с вулканическими породами основного и умеренно основного состава (*базальтами*, *латитами*, *долеритами*, *андезитами* и их туфами и брекчиями). И. ш. встречается также в карбонатных осадочных породах, известняках, мергелях и мраморах. Монокристаллы выращивают гидротермальным синтезом.

Применяют для получения и анализа поляризованного света, модуляции излучения оптических квантовых генераторов, для приборов непрерывного и дискретного скапирования света, для узкополосных интерференционно-поляризационных световых фильтров и др.

Лит.: Скропышев А. В., Кукуй А. Л. Исландский шпат. Л., 1973; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 5. Пер. с англ. М., 1966.

А. Н. Таращан.

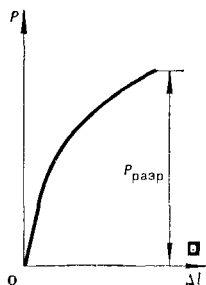
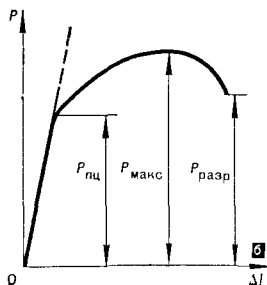
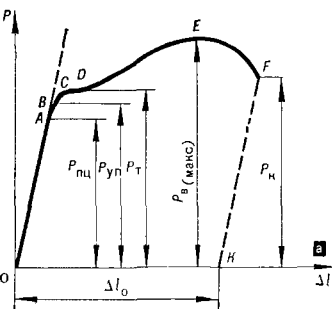
ИСПАРЯЕМОСТЬ — то же, что и *летучесть*.

ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ МЕХАНИЧЕСКИЕ — испытания, заключающиеся в определении механическим способом свойств материалов, характеризующих их способность сопротивляться деформированию и разрушению (в сочетании с упругим и пластическим поведением) под действием внешних сил. Обычно проводятся на основе рекомендаций, предписываемых стандартами, ведомственными и др. руководствами, с соблюдением условий подобия образцов и методов испытаний. Осуществляются как при нормальной, так и при пониженной или повышенной т-ре. Испытания материалов подразделяют на статические (образец материала нагружают медленно и плавно или нагрузка остается постоянной в течение длительной времени), динамические (образец нагружают с большой скоростью, в частности ударом) и циклические (образец подвергают многократному нагружению, изменяющемуся по величине или по величине и направлению). И. м. м. классифицируют также по видам нагружения (растяжение, сжатие, срез, изгиб, кручение и др.), обеспечивающим испытания при линейном, плоском либо объемном напряженном состоянии материала. Для испытаний на растяжение применяют образцы круглого или прямоугольного сечения с головками. Начальную расчетную длину образца принимают равной $l_0 = 5,65 \sqrt{F_0}$, где F_0 — начальная площадь поперечного сечения в рабочей части образца, или $l_0 = 11,3 \sqrt{F_0}$. Диаметр круглого образца — не меньше 3, толщина прямоугольного образца — не меньше 0,5 мм. Среди цилиндрических

основными являются образцы с начальным диаметром $d_0 = 10$ мм и начальной длиной $l_0 = 10 d_0$ (длинные) и $l_0 = 5 d_0$ (короткие). В процессе испытания образца строят первичную диаграмму растяжения (деформации), откладывая по оси ординат усилия растяжения P , а по оси абсцисс — абс. удлинение образца Δl . Ее можно получить автоматически при помощи спец. диаграммных приборов. Различают три осн. типа диаграмм растяжения (рис.): с «площадкой» текучести (преимущественно для малоуглеродистой стали); без «площадки» текучести, но с максимумом (для большинства пластичных металлов); без максимума (для малопластичных материалов). С помощью испытаний на растяжение определяют осн. характеристики мех. св-в материалов, отражающие их *прочность* и способность деформироваться: пределы пропорциональности, *упругости*, *текучести* и др. Предел пропорциональности $\sigma_{\text{пц}} = P_{\text{пц}}/F_0$ — макс. напряжение, при к-ром выполняется закон Гука (линейная зависимость между нагрузкой и удлинением) или отклонение от него достигает такой величины, что тангенс угла между касательной к кривой растяжения в рассматриваемой точке (точке A на рис.) и осью нагрузок увеличивается на 50%. При таком отклонении оперируют понятием об условном пределе пропорциональности. Предел упругости $\sigma_{\text{уп}} = P_{\text{уп}}/F_0$ — наибольшее напряжение, к-рое выдерживает образец без оста-

точной деформации после разгрузки. Иногда предел упругости (условный) регламентируют как напряжение, при к-ром остаточное удлинение достигает 0,05% от длины участка образца, равного базе тензомера, и обозначается $\sigma_{0,05}$. Значения пределов пропорциональности и упругости близки, и при расчетах разницы между ними часто пренебрегают. Предел текучести физический $\sigma_{\text{т}} = P_{\text{т}}/F_0$ — наименьшее напряжение, при к-ром образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки (участок CD на рис., называемый «площадкой» текучести); предел текучести условный $\sigma_{0,2} = P_{0,2}/F_0$ — напряжение, при к-ром образец получает остаточное удлинение, равное 0,2% первоначальной расчетной длины. Предел прочности $\sigma_{\text{в}} = P_{\text{макс}}/F_0$ — напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке (точка E на рис.). Истинное сопротивление разрыву (истинный предел прочности) $S_{\text{к}} = P_{\text{к}}/F_{\text{к}}$ — наибольшее среднее нормальное напряжение в месте разрыва образца при разрушении (точка F на рис.). Здесь $P_{\text{к}}$ — нагрузка в момент разрыва образца; $F_{\text{к}}$ — миним. площадь поперечного сечения образца после разрыва. Относительное удлинение после разрыва (условная относительная деформация) $\delta = \frac{\Delta l_0}{l_0} 100\%$ — отношение приращения расчетной длины образца к первоначальной длине. Относительное

Диаграммы, получаемые при испытаниях материалов на растяжение: a — с «площадкой» текучести (CD); b — без «площадки» текучести, но с максимумом; $в$ — без максимума.



сужение после разрыва $\psi = \frac{\Delta F_0}{F_0} \times 100\%$ — отношение абс. уменьшения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади его поперечного сечения. Площадь диаграммы растяжения (площадь $OABCFDEFK$ на рис.) характеризует мех. работу деформирования образца до разрушения. Удельную работу деформирования определяют делением величины полной работы деформирования на объем той части образца, длина к-рой изменилась. Удельная работа деформирования служит показателем способности материала сопротивляться разрушению при ударном приложении нагрузки. Вид диаграммы растяжения в координатах сила — удлинение обуславливается не только свойствами материала, но и размерами образца. Вследствие этого для получения собственно характеристик материала первичную диаграмму перестраивают, приводя ее к координатам напряжение — относительная деформация делением значений растягивающей силы на первоначальную площадь поперечного сечения образца, а абс. удлинения расчетной части образца — на первоначальную длину. В этих координатах модуль упругости E предстает как тангенс угла наклона прямолинейного участка диаграммы к ее оси абсцисс. Площадь диаграммы напряжений равна в соответствующем масштабе удельной работе деформирования. С учетом неравномерного распределения относительной продольной деформации образца после образования шейки строят также истинную диаграмму напряжений в координатах истинное напряжение — относительное сужение, для чего в течение всего времени испытания измеряют не только силу, но и относительное сужение поперечного сечения образца. Испытания на растяжение проводят на разрывных или универсальных машинах, а также на прессах с реверсорами (приспособлениями, преобразующими усилие сжатия в усилие растяжения), обеспечивающими растяжение либо при постоянной скорости деформирова-

ния, либо при постоянной скорости нагружения. В испытательных машинах есть механизмы, нагружающие образец, силовизмерительные механизмы, а также механизмы для передачи на образец и центрирования нагружающего усилия. В зависимости от типа привода механизма нагружения различают машины гидравлического действия, в к-рых подвижный захват перемещается под действием поршня гидравлического цилиндра, машины мех. действия (шпиндельные), где подвижный захват перемещается винтовым шпинделем с вращающейся гайкой, и др. Силовизмерительные механизмы машин подразделяют на рычажные, рычажно-маятниковые, гидравлические, пружинные (в частности, торсионные) и электротензометрические. В рычажных механизмах осн. элементами являются измерительный рычаг и перемещающийся по нему подвижный груз, положение к-рого на рычаге, имеющем шкалу, и определяет величину силы, приложенной к образцу. Действие рычажно-маятниковых механизмов основано на отклонении подвешенного маятника, пропорциональном нагружающей силе. В гидравлических механизмах осн. элементом служит месдоза (толстостенная цилиндрическая коробка с резиновой или латунной крышкой-мембраной, заполненная жидкостью). Под действием нагружающей силы мембрана прогибается и часть жидкости, пропорциональная величине силы, устремляется в манометр, соединенный с месдозой; отклонение стрелки манометра также пропорционально приложенному усилию. В пружинных механизмах для мех. или визуальной регистрации величины силы, деформирующей образец, используют деформирование пружин под действием нагружающего усилия. В электротензометрических механизмах есть упругий элемент, расположенный в доли нагружения образца, на к-рый наклеивают тензорезисторы. При нагружении электрическое сопротивление тензорезисторов изменяется и образующийся сигнал, пропорциональный величине силы, подается на самопишущий диаграммный прибор. Для измерения небольших деформаций применяют зеркальные приборы, приборы мех.

действия с использованием индикаторов часового типа, рычажные тензометры, а также электр. тензометры сопротивления (тензорезисторы). Точность измерения удлинения образца зеркальными приборами (напр., прибором Мартенса) 0,001 мм. Цена деления индикаторов часового типа обычно 0,01; 0,002 и 0,001 мм. Рычажные тензометры обеспечивают точность измерения до 1 мм. Электр. тензометры позволяют определять деформацию материала по изменению их электр. сопротивления. При горячих испытаниях образец нагревают в электр. печах сопротивления, пламенем газовой горелки, в ваннах из расплавленных солей или металлов, в камерах со спец. газовыми средами, непосредственно пропускаая электр. ток через образец и др. Наиболее распространен способ нагрева образца в электр. печах сопротивления; т-ру измеряют термопарами или пирометрами. При низкотемпературных испытаниях образец охлаждают смесью бензина или спирта с твердой углекислотой (до т-ры — 78°С), смесью бензина с жидким азотом (до т-ры — 120°С) или жидким азотом (до т-ры — 196°С). Испытания на сжатие обычно подвергают хрупкие материалы (чугун, литые сплавы, бетон, кирпич, камень и др.), к-рые, как правило, лучше сопротивляются сжатию, чем растяжению. Испытывают чаще всего цилиндрические образцы диаметром 10 ÷ 25 мм, высота к-рых h_0 в три раза больше диаметра сечения d_0 . По данным испытания строят диаграмму сжатия в координатах сила сжатия — абс. укорочение образца или условное напряжение $\sigma = P/F_0$ (P — сила сжатия; F_0 — начальное сечение образца) — относительная осадка образца $\varepsilon = (h_0 - h)/h_0$ (h_0 — начальная высота образца; h — высота образца после сжатия). В результате испытаний определяют пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности (непластичных материалов). При сжатии пластичные материалы чаще всего распушываются с образованием трещин по окружности; малопластичные материалы скалываются под углом к образующей; в хрупких материалах (или если нет трения на контактных поверхностях) образуются продольные

трещины. На сжатие испытывают с помощью спец. гидравлических прессов или универсальных испытательных машин. Укорочение образцов измеряют индикаторами, катетометрами или тензометрами. При испытании на кручение в конечных сечениях рабочей части цилиндрического образца прикладывают два равных по величине и противоположно направленных крутящих момента, действующих в плоскостях, перпендикулярных оси образца. В качестве нормальных используют образцы круглого сечения диаметром в рабочей части 10 мм и с расчетной длиной 100 или 50 мм. В процессе испытания определяют: модуль упругости при сдвиге G — отношение касательного напряжения к относительному сдвигу в области упругой деформации; сдвиг при кручении (относительный) γ — отношение длины дуги поворота окружности одного поперечного сечения образца относительно окружности другого его поперечного сечения к расстоянию между этими поперечными сечениями; предел пропорциональности при кручении (технический) $\tau_{пц}$ — касательное напряжение, при к-ром отклонение от закона Гука таково, что тангенс угла, образуемого касательной к точке кривой деформации и осью напряжения, превышает первоначальное значение на 50%; предел текучести при кручении (условный) $\tau_{0,3}$ — касательное напряжение, при к-ром образец получает остаточный сдвиг, равный 0,3%; истинный предел прочности при кручении t_K — наибольшее касательное напряжение, вычисленное по наибольшему крутящему моменту с учетом пластической деформация; условный предел прочности при кручении $\tau_{пц}$ — наибольшее касательное напряжение, соответствующее наибольшему крутящему моменту; характер разрушения при кручении (срез или отрыв), определяемый направлением разрушения: перпендикулярно или параллельно оси образца (от касательных напряжений), по винтовой линии, примерно под углом 45° к оси образца (отрыв от растягивающих напряжений). Для

испытания применяют преим. машины горизонтального типа с крутящим моментом $6 \div 2000 \text{ кгс} \cdot \text{м}$. Деформацию измеряют зеркальным прибором Мартенса (для кручения) или приборами др. типов с таким же уровнем точности. Испытания на срез подвергают материалы, используемые для изготовления заклепок, болтов, врубок, шпонок и др. деталей, в к-рых наблюдаются преим. деформации сдвига. При этом обычно определяют условный предел прочности по формуле $\tau_{\text{ср}} = P/F_{\text{ср}}$ (P —

наибольшая сила, приходящаяся на один срез; $F_{\text{ср}}$ — площадь сечения одного среза). Испытывают, как правило, цилиндрические образцы диаметром $10 \div 25 \text{ мм}$, используя разрывные машины со спец. приспособлениями. Испытания на изгиб чаще всего проводят для хрупких и малопластичных материалов, мех. характеристики к-рых трудно определить при растяжении из-за чрезвычайной чувствительности к перекосам образца. Испытание стержневых образцов постоянного круглого или прямоугольного сечения, установленных на две неподвижные опоры, осуществляют либо приложением сосредоточенной нагрузки посередине образца, либо приложением двух сосредоточенных сил, расположенных на одинаковых расстояниях от опор. В процессе испытания регистрируют нагрузку на образец и его прогиб, после чего строят диаграмму изгиба в координатах изгибающая сила (ось ординат) — прогиб образца (ось абсцисс) и определяют пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочности при изгибе. Испытания проводят на прессах или универсальных машинах. Прогиб образцов измеряют с помощью индикаторов, катетометров или прогибомеров со стрелкой. Ударные испытания проводят для изучения сопротивляемости материалов динамическим нагрузкам и склонности их к хрупкому разрушению. Различают ударные испытания: по виду деформации — на растяжение, изгиб, реже — на сжатие, кручение и срез; по скорости нагружения — обычные

испытания (4—7 м/сек), скоростные (100—300 м/сек) и сверхскоростные (300 м/сек и больше); по числу ударов — одним ударом (до разрушения или до определенной степени деформации) либо повторными ударами; по т-ре. Чаще всего осуществляют испытания ударным изгибом образца прямоугольного сечения с надрезом посередине для определения *ударной вязкости* материала. Для ударных испытаний используют вертикальные (с падающей бабой), маятниковые (с отклоняемым маятником), ротационные (крутильные), пневматические или пороховые (скоростные) копры. Измерение *с твердости* преследует цель получить характеристику сопротивляемости материала местному пластическому деформированию или хрупкому разрушению в поверхностном слое. Осуществляется внедрением в материал др. тела (индентора). Различают статические, динамические и др. методы измерения *твердости*. Наиболее распространены статические методы, в соответствии с к-рыми индентор, изготовленный из определенного материала и имеющий определенную форму, вдавливают в испытуемый материал с определенной силой (см. также *Микротвердость*). К. И. м. м., при к-рых нагрузки на образец действуют в течение значительного времени, относятся длительные испытания и испытания на усталость. Длительные испытания заключаются в том, что образец в течение значительного времени подвергается воздействию постоянной нагрузки или постоянно деформируется при постоянной (иногда переменной) т-ре. Различают испытания на *ползучесть*, на *длительную прочность* и на *релаксацию*. Цель испытания на ползучесть — определение предела ползучести материала, т. е. наибольшего напряжения, при к-ром скорость деформация ползучести за определенное время не превышает заданной величины. В результате испытания на длительную прочность определяют предел длительной прочности — наибольшее напряжение, вызывающее разрушение материала за определенное время при постоянной т-ре. Испытание на релаксацию проводят для определения скорости релаксации напряжений, сопротивления релак-

стадии, предела ползучести материала при релаксации и времени релаксации. Испытание на усталость дает возможность оценить выносливость материалов, т. е. их способность выдерживать, не разрушаясь, большое число циклов повторно-переменных напряжений (см. *Усталость материалов*). В процессе испытания определяют предел выносливости (предел усталости) — наибольшее напряжение, при котором материал выдерживает, не разрушаясь, сколь угодно большое число повторений (циклов) переменных нагрузок или заданное число циклов, принимаемое за базу испытания. Различают симметричный цикл ($\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$), асимметричный цикл ($|\sigma_{\max}| \neq |\sigma_{\min}|$), к-рый может быть знакопеременным или знакопостоянным, и отнулевой цикл (либо $\sigma_{\max} = 0$, либо $\sigma_{\min} = 0$). Предел выносливости обозначают σ_r или τ_r с индексом, равным числовому значению коэфф. асимметрии $r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ (напр., для симметричного цикла σ_{-1}). Испытанию подвергают не менее 10 идентичных образцов при различных, постепенно уменьшающихся нагрузках, каждый раз определяя число циклов нагружения, вызвавшее разрушение образца. Эти образцы могут быть как гладкими, круглого ($5 \div 10$ мм) и прямоугольного ($10 \times 10 \div 20$ мм) сечения, так и с надрезами. По результатам испытания строят кривую усталости в прямоугольных координатах. Испытания проводят: при чистом изгибе вращающихся круглых, а также невращающихся круглых и некруглых образцов; при поперечном изгибе вращающихся консольных круглых и невращающихся консольных круглых и некруглых образцов, а также консольных круглых образцов под действием вращающейся силовой плоскости; при переменном растяжении — сжатии круглых и некруглых и переменном кручении круглых образцов. В машинах для испытаний на усталость образцы нагружают, применяя кривошипные или кулачковые механизмы, гидропульсационные устройства, используя инерционное возбуждение от вращающихся неуравновешенных масс, гири и пружины (по-

стоянной силы), резонансные системы и пневматическое возбуждение нагрузки. Проводят также испытания материалов при небольшом числе циклов нагружения и больших уровнях напряжений (см. *Малоцикловая усталость*). Интенсивно разрабатывают ускоренные методы определения характеристик выносливости, ползучести и длительной прочности материалов, позволяющие значительно сократить объем и продолжительность испытаний. Применяют также *испытания материалов микромеханические* и испытания на *вязкость разрушения*. При И. м. м., как правило, проводят статистическую обработку результатов, обеспечивающую достоверность и воспроизводимость мех. характеристик материалов. И. м. м. проводят в связи с разработкой оптимальных технологических процессов получения и обработки материалов, расчетом прочности в процессе конструирования, научными исследованиями и др. Наряду с И. м. м. прибегают к технологическим испытаниям материалов (см. *Технологическая проба*).

Лит.: Шапошников Н. А. Механические испытания металлов. М.—Л., 1954; Дондик И. Г. Механические испытания металлов. Справочник. К., 1962; Тимошук Л. Т. Механические испытания металлов. М., 1971; Степнов М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. М., 1972; Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов (Справочное пособие), т. 2. М., 1974.

А. П. Яковлев.

ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ — испытания, заключающиеся в определении физико-механических свойств материалов в небольших объемах. Объем материала, подвергающийся исследованию при И. м. м., значительно меньше, чем при *испытаниях материалов механических*. В процессе обычных мех. испытаний определяют только нек-рые средние характеристики материалов, напр. предел прочности, относительное удлинение. Однако во мн. случаях определение таких (интегральных) характеристик недостаточно. Часто необходим локальный подход к оценке физико-механических св-в материалов, важно установить закономерности изме-

нения св-в по сечению и по объему изделий в зависимости от технологических и конструктивных факторов, *остаточных напряжений* и др. особенностей. Эти задачи обусловили разработку новых методик и создание спец. машин, приборов и установок. К наиболее распространенным направлениям И. м. м. относятся исследования микроструктурных изменений и тонкой структуры, прочности и пластичности при деформировании и разрушении микрообразцов, *микротвердости* и кинетики развития *трещин*. Микроструктурные изменения, происходящие в металле при пластическом деформировании, исследуют с помощью металломикроскопа. Разработаны методы и установки для непрерывного наблюдения за определенной совокупностью зерен, для фотографирования отдельных этапов или всего процесса деформирования и разрушения образцов в условиях комнатной, повышенных или пониженных т-р при различных видах нагружения. В процессе пластического деформирования поликристаллических металлов исследуют образование *линий сдвигов*, механизм деформирования, зависимость прочности материала и *границ зерен* от т-ры и скорости нагружения и т. п. Для исследования тонкой структуры материала разработано несколько методик, а следовательно, и вариантов приспособлений, используемых при нагружении образцов растяжением непосредственно в электронном микроскопе. Все они дают возможность проводить эксперименты двух типов: с медленной контролируемой скоростью деформирования и малой общей деформацией для наблюдения за возникновением и движением *дислокаций* в тонкой фольге; с большим деформированием для изучения разрушения тонкой фольги. Приспособления представляют собой миниатюрные разрывные машины, вмонтированные непосредственно в камеру-объекте микроскопа. Структурные исследования (оптическим или электронным микроскопом) позволяют детальнее изучать сопротивление материалов деформированию, в частности дифференцировать сопротивление де-

формированию тела и границ зерен, что весьма существенно для разработки методов повышения прочности конструкционных материалов. Для исследования прочности и пластичности материалов применяют цилиндрические микрообразцы с диаметром рабочей части от 0,8 до 2,0 мм (малого диаметра — для более прочных, большого — для менее прочных), а для исследования св-в листового материала — плоские микрообразцы (толщиной до 1,0 ÷ 1,2 и шириной рабочей части 2—3 мм). Оптимальной длиной рабочей части образцов считают пятикратную. Выбирая размеры образцов, учитывают также зернистость и вид кристаллической решетки материала. Для крупнозернистых металлов с малой симметрией кристаллической решетки сечение рабочей части образца должно быть большим. Кроме того, миним. размеры образцов ограничиваются: технологией изготовления; точностью выполнения размеров и, как следствие, точностью результатов испытания; особенностями оперирования с ними. Машины для испытания микрообразцов должны характеризоваться повышенной точностью определения измеряемых величин, регистрировать сравнительно небольшие изменения нагружения и деформирования, отличаться высокой жесткостью конструкции. Разработаны машины и установки для испытания микрообразцов при кратковременном и длительном статическом, ударном и переменном нагружении: растяжением в вакууме, инертных газах и агрессивных средах при комнатной, повышенных или пониженных т-рах. Исследование микротвердости, позволяя точно и быстро контролировать качество материала изделий, особенно малых, дает возможность одновременно изучать св-ва отдельных структурных составляющих, тонких поверхностных слоев, а также распределение деформации после различных видов обработки давлением. Определение микротвердости, вместе с изучением микроскопического строения материала, позволяет проводить многочисленные физико-химические исследования структурных превращений, а следовательно, точнее и конкретнее решать материаловедческие вопросы. Созданы приборы (типа ПМТ-3) для испытания

материалов на микротвердость вдавливанием индентора под нагрузкой от 2 до 200 гс. Разновидность таких приборов предназначена для исследования микротвердости образцов и изделий больших размеров, к-рые находятся под нагрузкой при повышенной или пониженной т-ре. Что же касается исследования кинетики развития трещин, то известно, что в металле всегда есть микротрещины (как до деформирования, так и образующиеся на ранних его этапах). При деформировании в окрестности источника *концентрации напряжений* наблюдается пластическое течение или зарождение и рост трещин. Существующие микроскопические несовершенства (дефекты структуры) в этом случае развиваются, происходит местное или полное разрушение изделия. Разработаны методики и установки для исследования кинетики зарождения и развития трещин при комнатной, повышенных или пониженных т-рах, в условиях вакуума и воздействия рабочих сред. С их помощью определяют закономерности распространения трещин при циклическом и статическом нагружении, вводят новые критерии св-в материалов (напр., эффективную *поверхностную энергию*), характеризующие их сопротивление распространению трещин, т. е. хрупкому разрушению. И. м. м. позволяют решать многие практические задачи, напр. определять мех. св-ва отдельных зон объема поковок, отливок и готовых изделий в зависимости от способа и направления обработки, в том числе сварных и паяных изделий, аварийных деталей; изучать св-ва структурных составляющих и небольших опытных плавок (драгоценных металлов, *монокристаллов*, интерметаллидов, межкуристаллитных прослоек); исследовать воздействие рабочих сред и *масштабного фактора прочности* при уменьшении размеров.

Лит.: Ройтман И. М., Фридман Я. Б. Микромеханический метод испытания металлов. М., 1950; Максимович Г. Г. Микромеханические исследования свойств металлов и сплавов. К., 1974. Г. Г. Максимович.

ИСТИРАЕМОСТЬ — свойство материала уменьшаться в объеме и массе под действием истирающих усилий. И. равна $I = (G - G_1)/F$, где I — истираемость исследуемого материала;

G — масса материала до истирания; G_1 — масса материала после истирания; F — площадь истирания. Высокой стойкостью к И. отличаются каменно-керамические и мн. др. материалы. Так, И. *шлакобиталлов* равна 0,015—0,03 г/см², *петругических материалов* — 0,02, *известняка* — 0,2—2,7, *гранита* — 0,03—0,07, *кварцита* — 0,06—0,12, *плиток керамических* для полов — 0,08 г/см². Часто И. выражают в процентах потери массы материала. В зависимости от И., напр., *гравий* подразделяют на марки И20, И30, И45 и И55 (цифра указывает максимально допустимый процент потери массы материала после истирания). По И. устанавливают возможность применения строительных материалов для полов, дорожных покрытий, ступеней лестниц, угольных и др. бункеров и т. д. При испытаниях на И. определяют потерю массы, истирая образец материала (плитки, кубики, цилиндры) на спец. машинах (кругах истирания) при определенных (заданных) условиях: длине пути, скорости вращения круга, давления на образец и типе истирающего материала. И. гравия определяют в спец. полочном барабане.

Лит.: Воробьев В. А. Строительные материалы и детали. М., 1968; Воробьев В. А. Лабораторный практикум по общему курсу строительных материалов. М., 1972; Попов Л. Н. Строительные материалы и детали. М., 1973.

Е. Л. Гуменюк.

ИТТЕРБИЙ [Ytterbium; от назв. селения Иттербю (Ytterby) в Швеции], Yb — хим. элемент III группы *периодической системы элементов*; ат. н. 70, ат. м. 173,04; относится к *редкоземельным элементам*. Металл светло-серого цвета. В соединениях проявляет степени окисления +2 и +3. Известны изотопы с массовыми числами от 166 до 177, из них стабильные изотопы — с массовыми числами 168, 170—174 и 176. И. открыл в 1878 швейц. химик Ж. Мариньяк. Содержание И. в земной коре $3 \cdot 10^{-4}\%$. Осп. пром. минералами для получения металла служат ксенотим и эвксенит. И. полиморфен, т-ра полиморфного превращения 798°С. Кристаллическая решетка низкотем-

пературной модификации — кубическая гранецентрированная с периодом $a = 5,4862 \text{ \AA}$, высокотемпературной — объемноцентрированная кубическая с периодом $a = 4,44 \text{ \AA}$. Плотность $6,972 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 816^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 1193^\circ \text{C}$; коэфф. теплопроводности $0,0673 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$; теплоемкость $6,16 \text{ кал/г} \cdot \text{атом} \cdot \text{град}$; электрическое сопротивление $27 \text{ мком} \cdot \text{см}$; работа выхода электронов $2,59 \text{ эв}$. Модуль норм. упругости 1820 кгс/мм^2 ; $HV = 20$ (литого). Легко поддается мех. обработке. По физико-хим. св-вам близок к щелочноземельным металлам — кальцию, барию и стронцию. Химически активен; взаимодействует с кислородом, галогенами, серой, азотом, водородом и др. Очень быстро окисляется на воздухе, превращаясь в белый порошок. Сплавляется со мн. металлами, плавят его в инертной среде или в вакууме. Получают И. металлотермическим восстановлением. Окислы И. восстанавливают лантаном при t -ре $1000\text{—}1500^\circ \text{C}$ и затем дистиллируют для получения металла чистотой выше $99,0\%$. И. выпускают в виде небольших слитков. Чистый И. используют для исследовательских целей. Применение окислов и солей И. перспективно в радиоэлектронике в качестве кристаллофосфоров и люминофоров.

Лит.: Савицкий Е. М. [и др.]. Сплавы редкоземельных металлов. М., 1962; Фигуровский Н. А. Открытие химических элементов и происхождение их названий. М., 1970; Савицкий Е. М., Терехова В. Ф. Металловедение редкоземельных металлов. М., 1975. В. Ф. Терехова.

ИТТРИЙ (Yttrium; от назв. швед. селения Иттербю), Y — хим. элемент III группы периодической системы элементов; ат. н. 39, ат. м. $88,9059$; относится к редкоземельным элементам. Металл светло-серого цвета, на воздухе тускнеет. В соединениях проявляет степень окисления $+3$. Известны изотопы с массовыми числами от 82 до 97. К важнейшим долгоживущим относятся изотопы с массовыми числами 91; 90; 88 и 89. Открыт в 1794 финск. химиком И. Гадoliniном. Металлический И. получил в 1828

нем. химик Ф. Вёлер. Содержание И. в земной коре около $2,8 \cdot 10^{-3}\%$. И. входит в состав лопарита, монацита, иттропаризита, эвксенита, ксенотима и др. минералов. Полиморфен, т-ра полиморфного превращения $1490\text{—}1495^\circ \text{C}$. Кристаллическая решетка низкотемпературной модификации — гексагональная плотноупакованная типа магния, с периодами $a = 3,6474 \text{ \AA}$ и $c = 5,7306 \text{ \AA}$, а высокотемпературной — кубическая объемноцентрированная с периодом $a = 4,11 \text{ \AA}$. Плотность $4,472 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 1526^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 3340^\circ \text{C}$; коэфф. термического расширения (т-ра $25\text{—}1000^\circ \text{C}$) $10,1 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; теплоемкость $6,34 \text{ кал/г} \cdot \text{атом} \cdot \text{град}$; электрическое сопротивление $57 \text{ мком} \cdot \text{см}$; сечение захвата тепловых нейтронов $1,31 \text{ барн}$; парамагнитен; работа выхода электронов $3,07 \text{ эв}$. Модуль норм. упругости 6600 кгс/мм^2 ; модуль сдвига 2630 кгс/мм^2 ; предел прочности $31,5 \text{ кгс/мм}^2$; предел текучести $17,5 \text{ кгс/мм}^2$; сжимаемость $26,8 \times 10^{-7} \text{ см}^2/\text{кг}$; удлинение 35% ; $HV = 38$. Чистый И. легко поддается мех. обработке и деформированию. Его кукут и прокатывают до лент толщиной $0,05 \text{ мм}$ на холоду с промежуточными отжигами в вакууме при t -ре $900\text{—}1000^\circ \text{C}$. И. — химически активный металл, реагирует со щелочами и к-тами, сильно окисляется при нагревании на воздухе. Работы с И. проводят в защитных камерах и высоком вакууме. И. с металлами Ia, IIa и Va подгрупп, а также с хромом и ураном образует несмешивающиеся двойные системы; с титаном, цирконием, гафнием, молибденом и вольфрамом — двойные системы эвтектического типа (см. Эвтектика); с редкоземельными элементами, скандием и торием — непрерывные ряды твердых растворов и широкие области растворов; с остальными элементами — сложные системы с наличием хим. соединений (см. Диаграмма состояния). Получают И. металлотермическим восстановлением, действуя на его фторид кальцием при t -ре выше t -ры плавления металла. Затем металл переплавляют в вакууме и дистиллируют, получая И. чистотой до $99,8\text{—}99,9\%$. Чистоту металла повышают двух- и трехкратной дис-

гилляций. И. выпускают в виде монокристаллов, слитков различной чистоты и массы, а также в виде сплавов с магнием и алюминием. Чистый И. используют для исследовательских целей. В качестве основы сплавов его применяют редко. Наиболее широко И. используется как легирующая и модифицирующая добавка к сплавам почти на всех основах. И. используют при произ-ве легированной стали (его добавка уменьшает величину зерна, улучшает мех., электр. и магн. св-ва) и модифицированного чугуна. Он повышает жаростойкость и жаропрочность сплавов на основе никеля, хрома, молибдена и др. металлов; увеличивает пластичность тугоплавких металлов и сплавов на основе ванадия, тантала, вольфрама и молибдена; упрочняет титановые, медные, магниевые и алюминиевые сплавы; увеличивает жаропрочность магниевых и алюминиевых сплавов. В атомной энергетике И. используют как носитель водорода, разбавитель ядерного горючего, как конструкционный материал реакторов. Широкое применение находит И. в электронике и радиотехнике в качестве катодных материалов (окислы И.), *геттеров* (сплавы И. с лантаном, алюминием, цирконием), ферритов-гранатов, *люминофоров*. Из тугоплавких и огнеупорных материалов на основе боридов, сульфидов и окислов И. изготовляют катоды для мощных генераторных установок, тигли для плавки тугоплавких металлов и др.; ортованадат И. — эффективный материал для цветного телевидения. И. и его окислы применяют как *катализаторы* органических реакций, при произ-ве нефти. См. также *Иттрийсодержащие сплавы*.

Лит.: Терехова В. Ф., Савицкий Е. М. Иттрий. М., 1967; Фигуровский Н. А. Открытие химических элементов и происхождение их названий. М., 1970; Савицкий Е. М., Терехова В. Ф. Металловедение редземельных металлов. М., 1975.

ИТТРИЙСОДЕРЖАЩИЕ СПЛАВЫ

— сплавы, в состав которых входит *иттрий*. К И. с. относятся некоторые стали, чугуны, алюминиевые, кобальтовые и др. сплавы. В *жаропрочные сплавы* иттрий вводят для повышения *длительной прочности*, температурных режимов эксплуатации, *деформируемости*. Он оказывает раскисляющее, дегазирующее и рафинирующее действие, упрочняя сплавы вследствие легирования *твердого раствора* и изменения механизма пластического деформирования их основы. *Нержавеющая сталь* (25% Cr), в к-рой нет иттрия, стойка против окисления до т-ры 1093° С. С добавлением же иттрия (1%) эта стойкость присуща стали до т-ры 1370° С. Увеличение содержания иттрия до 2% снижает скорость окисления стали. В чистом виде и в составе комплексной *лигатуры* иттрий оказывает модифицирующее действие на чугуны. Он хорошо усваивается чугуном, не расплескивает и не отбеливает его. Добавка иттрия повышает предел прочности чугуна на растяжение до 60 кгс/мм². Удлинение такого чугуна составляет 1,5—2,5%, после термической обработки оно достигает 22%. *Износостойкость* иттриевого чугуна в четыре раза выше, чем *серого чугуна*. Добавка иттрия (1%) к алюминиевым сплавам (25% Fe, 5% Cr) улучшает обрабатываемость, поскольку он со-

Свойства иттрийсодержащих сплавов (сплавов титана с иттрием)

Содержание иттрия, %	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %
	20° С			300° С			500° С		
0	29	42	72	13,5	82	60	10,5	30	64
0,5	29,5	21	22	11,5	24	50	10	27	46
2,0	37	18	27	13	23	41	12,6	27	40
5,0	61	19	24	18	22	44	17	26	36
10,0	82	14	10	20	25	40	18	21	36

храняет мелкозернистую структуру и повышает коррозионную стойкость сплава. Введение иттрия (0,05—0,5%) в кобальтовые сплавы, содержащие 25—30% Сг, повышает их сопротивление окислению и высокотемпературной коррозии. Скорость коррозии сплава кобальта с иттрием (0,1—0,2%) уменьшается в 10 раз. Добавка иттрия (0,01—0,1%) повышает сопротивление на разрыв *тантала сплавов* прил. в шесть раз. Иттрий (0,05 — 0,15%) понижает *твердость* и особенно *т-ру* перехода в хрупкое состояние литого молибдена, повышает его *т-ру рекристаллизации*. Введение иттрия (до 1%) в *ванадия сплавы*, оказывая рафинирующее действие (очищая от кислорода и азота), вызывает снижение твердости и повышение пластичности. Иттрий (более 0,5%) увеличивает прочность *титана сплавов* уже при комнатной *т-ре* (табл. с. 519), повышает их *сверхпроводимость*. Высокие прочностные характеристики у сплава титана с иттрием (10%). Жаропрочным (до *т-ры* 1650° С) конструкционным материалом для летательных аппаратов служит сплав ниобия с добавками вольфрама, гафния и иттрия (0,05—0,3%). Из легкого магнийиттриевого сплава (9% Y, 1% Zn, остальное — магний), обладающего высокой коррозионной стой-

костью, изготовляют детали и узлы летательных аппаратов. В электро-технике как активатор стартеров люминесцентных ламп используют сплав марки ЦИ-1 (20% Y, остальное — церий). В электронике используют иттриевожелезные ферриты-гранаты; иттрийалюминиевые гранаты используют в лазерах. Нашли применение иттриевые *люминофоры*, активированные европием. Сложный окисел железа и иттрия используют для микроволновых фильтров. Твердый гидрид иттрия, характеризующийся высокой термической стабильностью, применяют в качестве эффективного замедлителя в сердечниках ядерных реакторов. Алуминиды с добавкой иттрия используют как *защитные покрытия* жаропрочных материалов. Сплавы на основе иттрия с добавками алюминия и циркония служат *геттерами* в электронных лампах. Окислитриевые катоды, применяемые в электротехнике, более долговечны и стабильны в эксплуатации, чем окисноториевые. В производстве высокотемпературных керамических материалов различного назначения используют окись иттрия и окись циркония, стабилизированные иттрием.

Лит.: Вопросы теории и применения редкоземельных металлов. М., 1964; Терехова В. Ф., Савицкий Е. М. Иттрий. М., 1967; Редкоземельные металлы и сплавы. М., 1971; Физико-химия редких металлов. М., 1972; Редкоземельные металлы, сплавы и соединения. М., 1973.

К. А. Лычак.

Й

ЙОД (Jodum; от греч. *ιοειδης* — похожий на фиалку, фиолетовый), I — хим. элемент VII группы *периодической системы элементов*; ат. н. 53, ат. м. 126,9045. Кристаллы черного цвета с фиолетовым металлическим блеском. Природный Й. состоит из стабильного изотопа с массовым числом 127. Известны 22 радиоактивных изотопа Й. с массовыми

числами 117—126, 128—139. Радиоизотопы характеризуются гл. обр. бета- и гамма-радиоактивностью. Период полураспада наиболее долгоживущего изотопа ^{129}I составляет $1,7 \cdot 10^7$ лет. Й. открыл в 1811 франц. химик Б. Куртуа. Содержание Й. в земной коре $10^{-4}\%$. Природные минералы, содержащие Й., очень редки. В основном Й. содержится в буровых

водах (3·10⁻³%) и морской воде (0,06 мг/мл). Плотность I_2 4,94 г/см³; $t_{\text{пл}} = 113,5^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} = 184,35^\circ \text{C}$; температурный коэфф. линейного расширения равен $93,0 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; электрическое сопротивление (t -ра 18°C) — $1,3 \cdot 10^{-9} \text{ ом} \cdot \text{см}$; удельная теплоемкость 0,052 кал/г·град; коэфф. теплопроводности $1,04 \cdot 10^{-3} \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$. При нагревании под атм. давлением возгоняется. В парах элементарный I_2 , подобно др. галогенам, состоит из двухатомных молекул, распад к-рых становится заметным при t -ре 600°C . Для получения жидкого I_2 необходимо, чтобы парциальное давление его паров превышало 90 мм (тройной точке I_2 на его фазовой диаграмме отвечает 116°C и 90 мм). Жидкий I_2 хорошо растворяет серу, селен, теллур и йодиды многих металлов, образуя с йодидами комплексы. Растворим в органических растворителях; в сольватирующих растворителях (спиртах, кислотах) дает растворы бурого цвета, в несольватирующих (углеводородах, эфирах, бензоле, сероуглероде) — фиолетового цвета. Хим. активность I_2 — наименьшая в ряду природных галогенов. Соединяется с большинством металлов и неметаллов, образуя соединение со степенью окисления — 1. Соединение I_2 с водородом — йодистый водород HI — бесцветный газ, $t_{\text{пл}} = 51^\circ \text{C}$, $t_{\text{кип}} = 35^\circ \text{C}$; получают его непосредственным соединением элементов, вытеснением йодистого водорода из солей I_2 действием сильных минеральных к-т. Йодистый водород хорошо растворяется в воде (42 500 частей в 100 частях воды при t -ре 10°C), образуя йодистоводородную к-ту (макс. концентрация раствора при t -ре 20°C составляет 65%, плотность раствора 1,901 г/см³). Соли йодистоводородной к-ты — йодиды щелочных и щелочноземельных металлов — хорошо растворимы в воде; йодиды металлов III—V групп периодической системы при этом часто гидролизуют. С кислородом I_2 непосредственно не соединяется, косвенным путем можно получить окислы I_2O_4 и I_2O_5 . При растворении I_2 в щелочах образуются нестойкие

соли йодноватистой к-ты HIO , к-рые переходят в соли йодноватой к-ты HIO_3 . При действии сильных окислителей образуются йодная к-та HIO_4 и ее соли. В зависимости от числа молекул воды, с к-рой соединены йодная к-та и ее соли, существует большое количество различных производных этой к-ты (кислые соли, мета-, ортопериодаты и т. п.). Получены соли (сульфаты, нитраты, перхлораты, ацетаты) с катионами I^+ и I^{3+} . В соединениях с галогенами (межгалогидные соединения) I_2 проявляет все нечетные степени окисления от 1 до 7, напр. ICl , ICl_3 , IF_5 и IF_7 . Элементарный I_2 и йодиды применяют при транспортных методах получения веществ и материалов высокой степени чистоты. Наиболее распространен йодидный метод, используемый для глубокой очистки циркония, гафния и др. тугоплавких металлов. I_2 и его соединения применяют также в медицине, фотографии, в аналитической химии.

Лит.: Фиалков Я. А. Межгалогидные соединения. К., 1958; Некрасов Б. В. Основы общей химии, т. 1—2. М., 1973; Позин М. Е. Технологии минеральных солей, ч. 1—2. Л., 1974; Роуленд Р. Ф. Йодидные металлы и йодиды металлов. Пер. с англ. М., 1968.

Ю. Я. Фиалков.

ИОДИДЫ — соединения йода с более электроположительными элементами. В I_2 элементы проявляют преим. низшие валентные формы. Расплавы I_2 способны растворять значительное количество металла (CdI_2 — до 30 ат.% Cd), образуя иногда субйодиды (BiI). В ряду солеобразных галогенидов I_2 наиболее легкоплавки. Кристаллы некоторых из них пластичны (I_2 серебра и цезия), светочувствительны (I_2 серебра, таллия, свинца), хорошо проводят ток (катионпроводящие твердые электролиты — AgI , Ag_3SI , Rb_6AgI_6). I_2 используют в фотографии, радиоэлектронике (реле памяти, электрохимические диоды), в термоэлектрических преобразователях, при получении высокочистых металлов (йодидный метод).

С. А. Кириллов, В. Д. Присяжный.

КАВИТАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ (от лат. *cavitas* — пустота) — свойство материала, контактирующего с потоком жидкости, сопротивляться разрушению при воздействии гидравлических ударов. Удары возникают в результате нарушения сплошности текущей жидкости с образованием полостей (пузырей), заполненных ее парами и воздухом, с последующим их захлопыванием вследствие изменения гидродинамических условий. Мерой К. с. служит потеря массы или объема материала в течение определенного времени испытания или эксплуатации. У большинства металлических и неметаллических материалов наблюдается начальный (инкубационный) период, когда эрозия незначительна или практически отсутствует, за к-рым следует период увеличения эрозии и протекания ее с почти постоянной скоростью. После того как поверхность материала в значительной степени разрушится, скорость эрозии уменьшается. Кавитационное разрушение носит преим. мех. характер. При эксплуатации материала в агрессивных жидкостях на кавитационное воздействие накладывается коррозия, а в условиях потока, несущего наносы, — их ударное и истирающее воздействие (см. *Истираемость*). К. с. металлов и их сплавов значительно выше, чем горных пород и бетонов (табл.). Среди металлов и их сплавов наиболее высокой К. с. обладают нержавеющие нестабилизирующие стали (рис. 1). При одновременном воздействии агрессивной жидкости используют также латуни, бронзы, монель-металл, титан и др. Если кавитационные удары воздействуют на пластичные материалы (алюминий, медь, олово, свинец и др.), разрушение происходит в результате многократного деформирования пластических выдавленных из очагов эрозии объемов. Менее пластичные материалы (железо, низкоуглеродистая сталь, чугун и др.) при кавитационном воздействии сначала упрочняются (см. *Уп-*

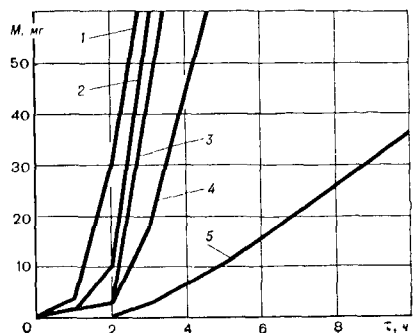
рочнение), а затем, в результате усталостных явлений (см. *Усталость материалов*), разрушаются. Непластичные материалы (бронза, спец. сплавы, каменные горные породы, бетон и др.) разрушаются хрупко.

Относительная кавитационная стойкость материалов

Материал	Скорость эрозии, мм ³ /ч
Титан	0,8÷1,1
Железо	1,3
Никель	4,4
Гранит, диабаз, базальт	(0,6÷3,0) 10 ²
Бетоны на основе минеральных вяжущих материалов:	
крупнозернистые М500	(3,5÷6,3) 10 ²
М300	(1,0÷3,0) 10 ⁴
мелкозернистые М500	(2,9÷5,3) 10 ²
М300	(0,7÷0,9) 10 ⁴

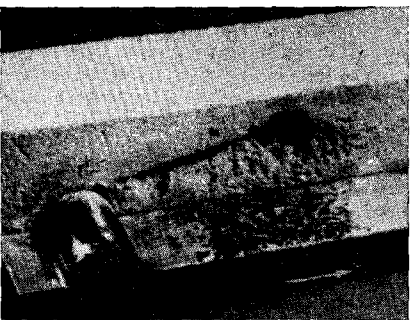
(рис. 2). Длительность инкубационного периода зависит от вида материала, его структуры и характера упрочнения. У металлов и их сплавов он длителен, у неметаллов (бетона) — непродолжителен. В этот период возникают и развиваются очаги *концентрации напряжений* в микрообъ-

Рис. 1. Кавитационная стойкость (потеря массы материала M в течение времени τ) сталей: 1 — сталь марки 1X18H3Г3Д2Л; 2 — сталь марки 1X18H9Т; 3 — сталь марки 20X14НЛ; 4 — сталь марки 1X13НДЛ; 5 — сталь марки 30X10Г10.



а, затем микротрещины на границах раздела (отдельных фаз и зерен); после этого очаги развиваются и материал разрушается. К. с. металлических сплавов определяется фазовым составом и структурой. Их разрушение начинается в наименее прочных местах — по границам зерен в однофазных сплавах, по границам фаз — в многофазных. Разрушение всегда распространяется в сторону менее прочной фазы. В нестабильных сталях и др. сплавах этого типа под воздействием гидравлических ударов могут протекать превращения с образованием новых структур. Так, в нестабильных аустенитных сталях в процессе упрочнения происходит превращение *аустенита* в *мартенсит*, что обеспечивает высокую кавитационную стойкость. Кроме того, образование мартенсита приводит к *релаксации* напряжений, возникающих в результате предшествующего упрочнения, что способствует повышению *долговечности материалов*. Кавитационное разрушение горных пород и бетонов начинается с дефектов структуры материала (очагов концентрации напряжений) — пор, капилляров, микротрещин, трещин и др., а также дефектов, возникающих в инкубационный период. Разрушение бетона развивается гл. обр. вследствие разрушения его менее прочной составляющей — цементного камня: происходит обнажение зерен песка, откалывается и вырывается крупный *заполнитель*. Оптималь-

Рис. 2. Образец из мелкозернистого бетона (препятствие в виде цилиндра с алюминиевой диафрагмой) после испытаний на кавитационную стойкость (стрелкой показано направление движения воды в камере проточного кавитационного стенда).



ная прочность бетонов, эксплуатируемых в зонах кавитационного воздействия, — $400\text{--}600 \text{ кгс/см}^2$. Уменьшение прочности приводит к интенсивному разрушению бетона, повышение ее до величины более 600 кгс/см^2 почти не увеличивает К. с. и неэффективно. Горные породы (*гранит, базальт, диабаз* и др.) разрушаются аналогично бетону (слоистые породы — по плоскостям спайности). Из горных пород наибольшая К. с. — у изверженных. К. с. сталей специально подобранного состава можно повысить переводом аустенита в мартенсит, охлаждая их до t -ры ниже 0°C , или радиационным облучением их. Большое распространение получило покрытие стали кавитационно-стойкими сплавами (наплавкой электродами или облицовкой пластинками и др.). К. с. повышают и конструктивными путями — созданием соответствующих профилей деталей и конструкций. К. с. бетона повышают подбором *цемента* и *гранулометрического состава* заполнителей, введением *добавок* поверхностно-активных веществ, вакуумированием бетонной смеси при виброуплотнении, спец. уходом за бетоном в процессе его твердения и др. (см. *Гидротехнический бетон*). Поверхность бетона должна быть плотной, без выступающих кусков заполнителя и арматуры. Чертания конструкции должны быть без порогов и резких изломов. Каждой из конструкций, в которых используют те или иные материалы, а также каждому из условий их эксплуатации соответствуют строго определенные методы и оборудование для испытания их на кавитационную стойкость. К. с. испытывают в основном методами проточной кавитации, ротационным, магнитострикционным, ультразвуковым и струеударным (ударно-эрозионным). Метод проточной кавитации основан на кавитационном воздействии полостей разрыва (пузырьков газа), образующихся в потоке жидкости при прохождении его через зауженную часть гидродинамической трубы. При ротационном методе используют кавитационное воздействие полостей разрыва газа, образующихся над сквозными отверстиями в быстро

вращающемся диске, погруженном в жидкость. Магнитострикционный метод основан на изменении формы и размеров тела при намагничивании. По этому методу образец материала укрепляют на погруженный в жидкость стержень из *магнитострикционного материала*; при воздействии магн. поля стержень вибрирует, происходит отрыв жидкости с образованием зоны кавитации. Ультразвуковой метод основан на том, что при воздействии на кольцо из титаната бария переменного электр. поля возникают ультразвуковые волны, вызывающие кавитацию и разрушение образца материала. Струеударный метод основан на разрушении материала при соударении со струями или каплями воды, движущимися с большими скоростями. Магнитострикционный и ультразвуковой методы позволяют создавать режимы, при к-рых материалы подвергаются кавитационному разрушению в конструкциях турбин, насосов и гребных винтов. Наиболее близкими к реальным условиям эксплуатации материалов конструкций гидротехнических сооружений являются условия, создаваемые по методу проточной кавитации, ротационному и струеударному методам. К. с. металлов (сплавов) учитывают при конструировании гребных винтов, лопастей турбин, насосов, цилиндров поршневых групп, клапанов, вентилялей и т. д.; К. с. горных пород, а также *композиционных материалов* (напр., растворов и бетонов) — при проектировании и строительстве элементов гидротехнических сооружений (водоводов, сливных граней плотин, бычков-гасителей, волноотбойных стенок и др.).

Лит.: Перник А. Д. Проблемы кавитации. Л., 1966; Козырев С. П. Гидрообразный износ металлов при кавитации. М., 1971; Богачев И. Н. Кавитационное разрушение и кавитационностойкие сплавы. М., 1972; Гинзбург Ц. Г., Иноземцев Ю. П., Картелев В. Г. Кавитационная износостойкость гидротехнического бетона. Л., 1972; Пахомов В. А., Гончаров В. В. Бетон и железобетон в гидротехническом строительстве. К., 1974; Pear-sall I. S. Cavitation. London, 1972; Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. Пер. с англ. М., 1974. И. Н. Богачев, В. В. Гончаров.

КАДМИЙ (Cadmium; от греч. *καδμεία* — цинковая руда), Cd — хим. элемент II группы *периодической системы элементов*; ат. н. 48, ат. м. 112,40. Серебристо-белый металл с синеватым отливом. В соединениях проявляет степень окисления +2. Природный К. состоит из стабильных изотопов с массовыми числами 106 (1,215%), 108 (0,875%), 110 (12,390%), 111 (12,750%), 112 (24,070%), 113 (12,260%), 114 (28,860%) и 116 (7,580%). К. открыл в 1817 нем. химик Ф. Штроемeyer при исследовании карбоната цинка. Пром. применение К. относится к началу 19 в. Содержание К. в земной коре $1,3 \cdot 10^{-5}\%$. Находится в основном в виде примесей в полиметаллических рудах цинка, свинца и меди. Иногда встречается в виде самостоятельных минералов: гринокита CdS и отавита CdCO_3 . Кристаллическая решетка К. — гексагональная с периодами $a = 2,96 \text{ \AA}$ и $c = 5,63 \text{ \AA}$. Атомный радиус $1,56 \text{ \AA}$, ионный радиус Ca^{2+} равен $1,03 \text{ \AA}$. Плотность (т-ра 20°C) $8,65 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 321^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 767^\circ \text{C}$; коэфф. *термического расширения* (т-ра 25°C) $29,8 \cdot 10^{-6} \times \times \text{град}^{-1}$; коэфф. *теплопроводности* (т-ра 0°C) $0,283 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$; удельная *теплоемкость* (т-ра 25°C) $0,055 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$, удельное *электрическое сопротивление* (т-ра 25°C) $7,4 \cdot 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}$. К. — мягкий тяжелый металл; легко куется и прокатывается. Предел прочности на растяжение $9,65 \text{ кгс/мм}^2$; относительное удлинение 44%; $\text{HB} = 16-20$. *Поверхностное натяжение* жидкого К. при т-ре 350°C равно 628 дин/см . Нагретый до т-ры 80°C К. становится хрупким. На воздухе тускнеет, покрываясь пленкой окиси CdO, предохраняющей от дальнейшего окисления. При сильном нагревании сгорает в окись CdO — коричневый или бурый порошок. С галогенами К. соединяется непосредственно, образуя бесцветные *галогениды*. При нагревании с серой получают сульфид CdS желтого цвета. К. трудно растворяется в неокисляющих к-тах, хорошо — в разбавленной азотной к-те, нерастворим в щелочах. Металлический К. образует двойные, тройные

и четверные *легкоплавкие сплавы*. Пары К. и его соединений, а также растворы этих соединений токсичны. Осн. источником получения К. служат полиметаллические цинковые руды. При обжиге руд часть К. (3—5%) в виде возгонов уносится вместе с окислами цинка. Обожженная цинковая руда поступает на гидрометаллургическую переработку, при к-рой обожженный концентрат и возгоны обрабатывают кислым электролитом, получаемым в произ-ве цинка. Растворы сульфата цинка очищают от меди и кадмия цинковой пылью, получая т. н. медно-кадмиевый кек, из к-рого затем получают чистый раствор сульфата кадмия. Из раствора К. выделяют электрохим. способом (с нерастворимыми анодами) или методом вытеснения (металлическим цинком). Обрабатывавшийся металлический К. подвергают переплавке и рафинированию под расплавленной щелочью, разливая затем в слитки. Металл высокой чистоты получают электрохим. способом с применением глубокой очистки электролита от микропримесей, перегонкой К. и зонной плавкой. Сочетанием этих способов получают К. чистотой 99,99995%. К. используют для покрытия изделий из стали и др. (см. *Кадмирование*), вводят в сплавы (см. *Кадмийсодержащие сплавы*). Добавка К. к меди (кадмиевая бронза) улучшает мех. св-ва, повышает срок эксплуатации медных проводов, мало снижая *электропроводность*. К. входит в состав антифрикционных подшипниковых сплавов, используемых в мощных двигателях (напр., авиационных). К. применяют для изготовления одного из электродов щелочных никелькадмиевых аккумуляторов, в ядерных реакторах для регулирова-

ния и управления цепной (ядерной) реакцией. Из соединений К. наиболее широкое применение находит сульфат, из к-рого готовят электролиты для кадмирования и получения кадмия. Сульфат и амальгаму К. используют в нормальном элементе Вестона. Сульфид К. применяют для изготовления желтой прочной краски и др.

Лит.: Чижигов Д. М. Кадмий. М., 1967; Александров Б. Н. Остаточное электропротивление как критерий чистоты металлов. «Физика конденсированного состояния», 1970, в. 6; Справочник по редким металлам. Пер. с англ. М., 1965. Д. П. Зосимович.

КАДМИЙСОДЕРЖАЩИЕ СПЛАВЫ — сплавы, в состав которых входит *кадмий*. Различают сплавы антифрикционные, легкоплавкие, драгоценные и специальные. Антифрикционные сплавы содержат до 18% Cd. В них кадмий способствует снижению коэфф. трения в процессе длительной эксплуатации. Кадмий является хорошим заменителем олова в сплавах, эксплуатируемых при больших нагрузках, входит в состав кадмиемедно-свинцовых, кадмие-никелевых, кадмие-серебряно-медных и др. сплавов, применяемых для изготовления подшипников скольжения, эксплуатируемых в условиях больших скоростей вращения, высоких т-р и давлений (в авиационных и др. двигателях внутреннего сгорания). Легкоплавкие сплавы кадмия с висмутом, оловом и свинцом используют как легкоплавкие припой. К легкоплавким относятся двойные или многокомпонентные металлические сплавы, т-ра плавления которых не превышает т-ры плавления олова. Т-ра плавления нек-рых легкоплавких К. с ниже точки кипения воды (табл.).

Ими можно паять в горячей воде олово, свинец, *нейзильбер*, железо, цинк, *латунь*. Эвтектический сплав свинца, олова и кадмия с т-рой плавления 145°С применяют в системах автоматического тушения пожаров и электр. предохранителях. Сплавы кадмия с серебром используют в качестве контактного материала. Сплав свинца и олова с кадмием (20% Cd) применяется для изготовления типографских клише (см. также *Вуда сплав*, *Легкоплавкие сплавы*, *Припой*,

Химический состав и температура плавления легкоплавких кадмийсодержащих сплавов

Содержание элементов, %				Т-ра плавления, °С
Cd	Pb	Sr	Bi	
10,0	27,0	13,0	50,0	55—60
12,5	25,0	12,5	50,0	70
10,0	28,0	17,0	45,0	170

Типографские сплавы). Драгоценными являются сплавы кадмия с золотом и серебром, используемые в ювелирном деле. Кадмий придает разные оттенки изделиям из драгоценных металлов. Сплавы серебра с кадмием обладают повышенной *пластичностью* (см. также *Ювелирные сплавы*). К специальным относится сплав меди с кадмием (0,9—1,2%) — кадмиевая бронза, отличающаяся повышенными мех. св-вами, относительно высокой *электропроводностью* и *теплопроводностью*, повышенной *износостойкостью*, она удовлетворительно обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии. Кадмиевую бронзу применяют для изготовления коллекторных пластин, контактных проводов электрифицированного транспорта, в реактивной технике, для электродов сварочных машин и др. Присадка кадмия повышает коррозионную стойкость *магния сплавов*. Амальгама кадмия, содержащая 25% Cd, 70% Hg, используется в зубопротезном деле (см. также *Зубопротезные сплавы*). Кадмий входит в состав платиножелезных сплавов, применяемых в произ-ве нержавеющей и немагнитных пружин для часовых механизмов. Сплав свинца с оловом, сурьмой и кадмием (0,25%) применяют при бронировании кабеля, для увеличения стойкости свинца против вибрации.

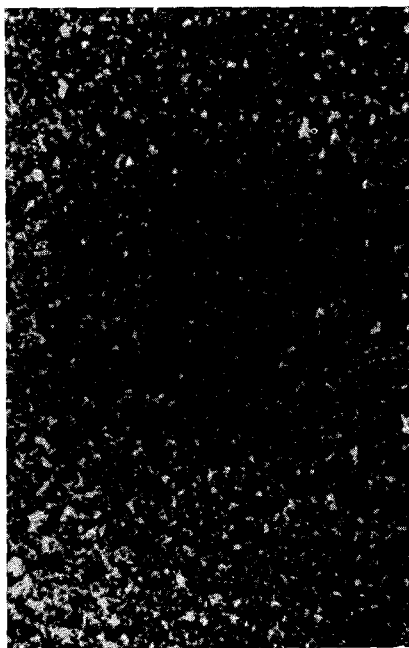
Лит.: Чижигов Д. М. Кадмий. М., 1967; Цветные металлы. Свойства. Сортамент. Применение. М., 1973.

Н. Г. Дешевых, А. Г. Щукин.

КАДМИРОВАНИЕ — нанесение на поверхность металлических изделий слоя *кадмия*. Кадмиевые покрытия (толщиной 7—20 мкм) защищают изделия (преим. стальные) от *коррозии металлов*, гл. обр. в атмосфере приморских районов, содержащей *хлориды*, а также придают им декоративный вид. Покрытия из кадмия непригодны для изделий, подвергающихся действию жидкостей, содержащих серу, или органических веществ, выделяющих муравьиную, уксусную, пропионовую либо масляную кислоту. Перед нанесением покрытия поверхность изделий обезжиривают в горячих щелочных растворах с добавками эмульгаторов, очищают от

окислов *травлением* в серной или соляной кислоте, затем изделия промывают в проточной воде, а образовавшийся на них шлак удаляют, после чего поверхность изделий активируют в разбавленной серной или соляной кислоте. Различают К. электрохимическое и вакуумное. Электрохимическое К. осуществляют восстановлением ионов кадмия (из водных растворов простых кислот или сложных комплексных его солей) на катоде, анодом во всех электролитах служит чистый металлический кадмий. По этому способу изделия загружают в стационарные ванны-электролизеры или полуавтоматические установки (ванны с автоматическим перемещением изделий), или вращающиеся барабаны, или спец. колокола (в них обрабатывают мелкие изделия в насыпном виде), где и осуществляется электролиз. Используемые для электролиза кислые электролиты (растворы серноокислой, борфтористоводородной или хлористой солей кадмия) дают возможность

Микроструктура кадмиевого покрытия, осажденного из цианистого электролита. X 500.



не получать плотные, с мелкозернистой структурой и относительно равномерные по толщине только при добавлении к ним поверхностно-активных органических веществ. Примерный состав одного из кислых электролитов ($г/л$): $CdSO_4 \cdot \frac{8}{3}H_2O$ — 50; $(NH_4)_2SO_4$ — 250; диспергатор НФБ — $50 \div 100$ $мл/л$; уротропин — $15 \div 20$; ОП-10 — $0,7 \div 1,2$; $pH = 4-5$. Т-ра электролита $25-35^\circ C$. Плотность тока $0,1 \div 1,5$ $а/дм^2$. Выход кадмия по току $95-100\%$. К комплексным относятся цианистые, пиррофосфатные, аммиакатные и аминокислотные электролиты с различными органическими лигандами. Наиболее распространены цианистые электролиты, из которых (при достаточном содержании свободного цианида) кадмий выделяется в виде мелкозернистого равномерного по толщине покрытия (рис.). Примерный состав одного из цианистых электролитов ($г/л$): CdO — $35 \div 45$; $NaCN$ — $90 \div 130$; сульфидированного целола или ализаринового масла — $10 \div 12$. Т-ра электролита $15-30^\circ C$. Плотность тока на катоде и аноде $0,5-2,0$ $а/дм^2$. Выход кадмия по току $85-97\%$. Ядовитые цианистые электролиты часто заменяют пиррофосфатными или аммиакатными. Примерный состав одного из пиррофосфатных электролитов ($г/л$): $CdSO_4 \cdot \frac{8}{3}H_2O$ — 20; $K_4P_2O_7 \times 3H_2O$ — $190 \div 200$; трилона Б — около 37; $pH \approx 8,5$. Т-ра электролита около $50^\circ C$. Плотность тока на катоде $0,2-3,0$, на аноде — до 1 $а/дм^2$. Выход кадмия по току $80-97\%$. Во избежание наводороживания и ухудшения мех. св-в стальных изделий применяют цианистые электролиты на основе цианистого калия с добавкой ионов титана (до 1 $г/л$). Для придания красивого, блестящего вида кадмированные изделия часто дополнительно обрабатывают в растворах кислот. Электрохимическое К. используют для защиты от коррозии деталей самолетов или кораблей, нередко слоем кадмия защищают (во избежание электрохим. коррозии) узлы из различных металлических деталей, напр. стальных и латунных. В а к у у м н о м у К. (см. также *Вакуумные покрытия*) подвергают изделия, нагретые до т-ры около $70^\circ C$. Остаточное давление в вакууме

не выше $(2-3) 10^{-4}$ $мм$ $рт. ст.$, т-ра испарения кадмия в этих условиях $350-500^\circ C$. Чтобы повысить адгезию покрытия, изделия подвергают *отжигу* при т-ре $160^\circ C$ в течение 10 $мин.$ Вакуумное К. применяют в авиационной промышленности для обработки изделий из высокопрочной стали, у к-рых после электрохим. нанесения покрытий могут ухудшаться мех. св-ва (вследствие наводороживания), а также изделий сложной конфигурации.

Лит.: Лайнер В. И., Кудрявцев Н. Т. Основы гальваностегии, ч. 1. М., 1953; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974; Прикладная электрохимия. М., 1975.

Н. Т. Кудрявцев.

КАЛИБРОВАННАЯ СТАЛЬ (от франц. calibre — размер) — горячекатаная сортовая сталь, подвергнутая холодному волочению с небольшими степенями деформации. Используется с 30-х гг. 20 в. Характеризуется точными допусками на размеры, повышенной чистотой поверхности, иногда — заданными мех. св-вами. Степень деформации стали при холодном волочении — $1,5-3\%$. К. с. изготавливают из углеродистых и легированных сталей. Технология производства К. с. заключается в подготовке поверхности — *травлении*, нанесении спец. покрытия (подсмазочного слоя) и смазке, а затем в волочении, правке и, если необходимо, *рекристаллизационном отжиге* или *отпуске*. Перед подготовкой поверхности прокат (подкат) из высоколегированных сталей подвергают *термической обработке*. К. с. выпускают в виде прутков круглого, квадратного, шестигранного и прямоугольного сечения толщиной $3-100$ $мм$. Диаметр прутков круглого сечения повышенной чистоты поверхности и точности размеров (серебрянки) составляет $0,2-25$ $мм$. Длина калиброванных прутков $6-12$ $м$. К. с. поставляют холоднотянутой с нешлифованной и шлифованной поверхностью. В зависимости от назначения и вида обработки качественную конструкционную К. с. подразделяют на группы: А — особо ответственного назначения с классами точности 2а, 3 и 3а; Б — общего

назначения с классами точности 3а, 4 и 5; В — для холодной мех. обработки (обточки, шлифования) по всей поверхности с классами точности 3а, 4 и 5. Круглую К. с. (серебрянку) поставляют: полированной — не ниже 9-го класса чистоты (группа А), шлифованной и полированной — 8-й класс (группа Б), шлифованной — 7 и 6-ой классы чистоты (группы В и Г) и шлифованной или ободранной — без контроля чистоты поверхности (группа Д). К. с. применяют для изготовления изделий массового производства на высокопроизводительных автоматах и полуавтоматах, а также валов, осей, роликов, крепежных и др. изделий, не подвергаемых дополнительной мех. обработкой. Находит широкое применение калиброванная *коррозионностойкая сталь*. Использование К. с. вместо горячекатаной стали позволяет рационально и рентабельно организовать производство изделий, значительно разгрузить станочное оборудование и сократить расход металла. На качественную конструкционную К. с. действует ГОСТ 1051—59, на круглую К. с. — ГОСТ 14955—69.

Лит.: И с у п о в В. Ф., С л а в и н В. С. Производство калиброванной стали. М., 1962; Ю х в е ц И. А. Волокнистое производство. М., 1965; Ш е ф т е л ь Н. И. Производство стальных калиброванных прутков. М., 1970.

В. П. Осипов.

КАЛИЕВЫЕ КВАСЦЫ, $KAl[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$ — минералы класса *сульфатов*. Синоним: к в а с ц ы. Хим. состав (%): K_2O — 9,93; Al_2O_3 — 10,75; SO_3 — 33,75; H_2O — 45,57. К. к. могут содержать примесь NH_4^+ (полная смесимость установлена на синтезированных фазах). Примеси: Na_2O (до 1,4%), Fe_2O_3 (до 1%), хром, марганец, кальций и хром (доли процента). Структура островная, сингония кубическая, вид симметрии дидодекаэдрический. Встречаются в виде землистых масс, выцветов, корок и плотных зернистых агрегатов. Кристаллы кубической формы. Спайность (см. *Спайность минералов*) едва заметна по (111). Плотность 1,76 г/см³. Твердость 2—2,5. Бесцветны. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Излом (см. *Излом минералов*) рако-

вистый. Растворимы в воде; *растворимость* при $t = 20^\circ C$ составляет 151 г/л. Отличаются вяжущим, сладковатым или терпким вкусом. Изотропны (см. *Изотропия*). Показатель преломления $n = 1,456$. Иногда слабо анизотропны (см. *Анизотропия*) в связи с мех. деформациями зерен или изменением хим. состава. В природе образуются при воздействии на глиноземистые породы сернокислых вод, возникающих вследствие окисления сульфидов, в условиях сольфатарной и фумарольной деятельности, при самовозгорании угольных пластов, среди месторождений серы в составе т. н. «квасцовых земель». К. к. получают из водных растворов сульфатов калия и алюминия. В пром. масштабе изготавливают с 17 в. из пиритсодержащих глинистых сланцев и из пород, насыщенных алунитом и лейцитом. К. к. используют как протраву при изготовлении кожи, бумаги, краски, в печатном деле и т. д.

Лит.: Л у к ь я н о в П. М. История химических промыслов и химической промышленности России, т. 2. М., 1949; Геология Азербайджана. Нерудные полезные ископаемые. Баку, 1957; Л а з а р е н к о Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Д з н а Д ж. Д. [и др.] Система минералогии, т. 2, полутом 1. Пер. с англ. М., 1953.

Л. К. Яхонтова.

КАЛИЙ (Kalium; от араб. аль-кали — поташ), К — хим. элемент I группы *периодической системы элементов*; ат. н. 19, ат. м. 39,098. Серебристо-белый мягкий металл. В соединениях проявляет степень окисления +1. Природный К. состоит из стабильных изотопов ³⁹K (93,08%), ⁴¹K (6,91%) и одного слабо радиоактивного изотопа ⁴⁰K (0,01%) с периодом полураспада $1,32 \cdot 10^9$ лет. Из искусственных радиоактивных изотопов наибольшее значение имеет изотоп ⁴²K с периодом полураспада 12,52 года. Металлический К. впервые получил (1807), назвав его «потассием», англ. химик и физик Г. Дэви электролизом влажного едкого кали. Название «калий» предложил в 1809 нем. физик и химик Л.-В. Гильберт. К. — один из наиболее распространенных элементов. Содержание его в земной коре 2,5%. В свободном состоянии в природе не встречается из-за большой хим. активности. Входит в состав *полевых шпатов*, *нефелина*, *слюд*, лейцита и др. минералов,

разлагающихся горные породы. При взаимодействии воды и двуокиси углерода на горные калийсодержащие породы переходит в растворимые соединения, легко вымываемые водой. Важнейшие минералы К.: *сильвин*, *карналлит*, *каинит* $\text{KMg}[\text{Cl}/\text{SO}_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и *полигалит* $\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Кристаллическая решетка К. — объемноцентрированная кубическая с периодом $a = 5,33 \text{ \AA}$. Атомный радиус $2,36 \text{ \AA}$, ионный радиус K^+ составляет $1,33 \text{ \AA}$. Плотность (т-ра 0°C) $0,8629 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 63,41^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 760^\circ \text{C}$; температурный коэфф. линейного расширения твердого К. (т-ра $0-50^\circ \text{C}$) $8,33 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$; температурный коэфф. объемного расширения (т-ра $70-100^\circ \text{C}$) $2,498 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$; коэфф. теплопроводности (т-ра 21°C) $0,232 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$ удельная *теплоемкость* (т-ра 20°C ; $0,182 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$. К. отличается высокой *электропроводностью*. Удельное электр. сопротивление (т-ра 20°C) $6,992 \cdot 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}$. Металлический К. парамагнитен. В холодном состоянии легко режется ножом, прессуется и прокатывается; $HV = 0,037$. Сжимаемость при давлении 1 бар равна $31,5 \cdot 10^{-6}$. Металлический К. на воздухе быстро окисляется, а при нагревании загорается. При взаимодействии с кислородом К. образует желтовато-белую окись K_2O и ярко-желтую перекись KO_2 . При действии кислорода на его аммиачный раствор образуются соединения K_2O_2 и K_2O_3 . На воздухе поверхность металла покрывается слоем перекиси с подстилающим слоем окиси. При очистке поверхности К. от окислов ножом возможны сильные взрывы в результате соприкосновения перекиси металла с металлическим калием. С водородом К. при нагревании до т-ры 200°C практически не взаимодействует, а при более высокой т-ре образуются белые кристаллы гидрида KH , легко воспламеняющиеся на воздухе. С азотом К. не реагирует даже при сравнительно высокой т-ре и давлении. Однако при воздействии на К. в среде азота электр. разрядов образуются бесцветные кристаллы азида K_3N и небольшое количество нитрида KNO_3 .

При взаимодействии с галогенами К. образует соответствующие соли: фторид KF , хлорид KCl , бромид KBr и йодид KI . При нагревании с серой образуется сульфид K_2S — твердое кристаллическое вещество белого цвета, гигроскопичное и постепенно разлагающееся на воздухе. С теллуром и селеном образует соответственно теллурид K_2Te и селенид K_2Se . Известны различного состава кристаллические соединения К. с углеродом (карбиды). Все карбиды К. исключительно реакционноспособны, напр. KC_{16} и KC_8 на воздухе окисляются, бурно реагируют с кислородом и водой. С кремнием К. образует силициды состава KSi и KSi_3 . Известны соединения К. с фосфором, мышьяком и бором. К. растворяется в воде, охлажденной до т-ры 0°C и не содержащей кислорода. Однако с водой, имеющей более высокую т-ру, К. реагирует со взрывом; при этом образуется гидроокись KOH и выделяется водород. К. растворяется в жидком аммиаке, тетрагидрофуране, диглиме и др. эфирах. Все эти р-ры К. — голубого цвета различной интенсивности. К. хорошо растворяется во многих металлах, с ртутью образует *амальгамы*. В гидроксильной группе спиртов К. замещает водород, образуя соответствующие алкоколяты. Эту особенность используют, в частности, для уничтожения небольших остатков щелочных металлов. К. способствует полимеризации олефинов и диолефинов, замещает галогены в галогеналкилах и галогенарилах, образуя калийалкилы и калийарилы. Взаимодействие К. с хлорированными органическими соединениями, напр. с четыреххлористым углеродом, происходит со взрывом. В пром. масштабах К. получают электролизом расплавов едкого кали или кислородных солей металла в расплавленных галогенидах. Используют также обменные реакции взаимодействия фторида К. с карбидом кальция, жидкого натрия с расплавом едкого кали (при т-ре $380-410^\circ \text{C}$) или взаимодействие между парами натрия и расплавом хлорида К. при т-ре $760-800^\circ \text{C}$. Металлический К. используют для получения

его надперекиси, применяемой для регенерации кислорода в замкнутых пространствах, напр. в подводных лодках; для восстановления титана из его солей ($TiCl_4$) при высокой т-ре; в различных газоразрядных приборах. Пары К. находят применение в магнетогидродинамических генераторах — установках, непосредственно преобразующих тепловую энергию в электрическую. Сплавы натрия и К. используют как *теплоносители* в ядерных реакторах, как рабочее тело в спец. транспортных энергетических установках и для поглощения кислорода.

Лит.: Шпильрайн Э. Э. [и др.]. Теплофизические свойства щелочных металлов. М., 1970; Справочник химика, т. 1. Л., 1971; Некрасов Б. В. Основы общей химии, т. 2. М., 1973; Реми Г. Курс неорганической химии, т. 1. Пер. с нем. М., 1972. П. П. Пугачевич.

КАЛИФОРНИЙ [Californium; от назв. штата Калифорния (California) в США], Cf — искусственно полученный радиоактивный хим. элемент; ат. н. 98; относится к *актиноидам*. Для К. характерна степень окисления +3. Впервые синтезирован и идентифицирован в 1950 амер. учеными С. Томпсоном, А. Гиорсо и Г. Сиборгом в виде изотопа ^{245}Cf , к-рый образовывался в результате облучения мишени из изотопа ^{242}Sm ускоренными альфа-частицами. Стабильных изотопов не имеет. Известны 16 изотопов К. с массовыми числами от 240 до 255. Наиболее долгоживущие — альфа-радиоактивные изотопы ^{251}Cf , ^{249}Cf , ^{250}Cf и ^{252}Cf с периодами полураспада соответственно около 900 лет; 352; 13,1 и 2,63 года. Их получают в весовых количествах в ядерном реакторе при длительном облучении плутония нейтронами. Металлический К. существует в двух модификациях: гранецентрированной кубической структуре с периодом решетки $a_0 = 5,743 \pm 0,006 \text{ \AA}$ и гексагональной структуре плотной упаковки с периодами решетки $a_0 = 3,988 \pm 0,004 \text{ \AA}$ и $c_0 = 6,887 \pm 0,008 \text{ \AA}$. Т-ра плавления К. $900 \pm 30^\circ \text{C}$. Из всех изотопов К. наибольшее практическое значение имеет изотоп ^{252}Cf , к-рый в 3% слу-

чаев испускает спонтанное деление, сопровождающееся испусканием нейтронов. 1 мг изотопа ^{252}Cf испускает $2,2 \cdot 10^9$ нейтронов/сек, что позволяет создавать очень компактные и мощные источники нейтронов, к-рые найдут широкое применение в медицине, геологии, геофизике и др.

Лит.: Мясоедов Б. Ф. [и др.]. Аналитическая химия трансурановых элементов. М., 1972; Хайнд Э., Перлман И., Сиборг Г. Ядерные свойства тяжелых элементов, в. 1. Трансурановые элементы. Пер. с англ. М., 1967; Haig R. G., Baybarz R. D. Crystal structure and melting point of californium metal. «Journal of Inorganic and Nuclear chemistry», 1974, v. 36, № 6. Г. Н. Флеров.

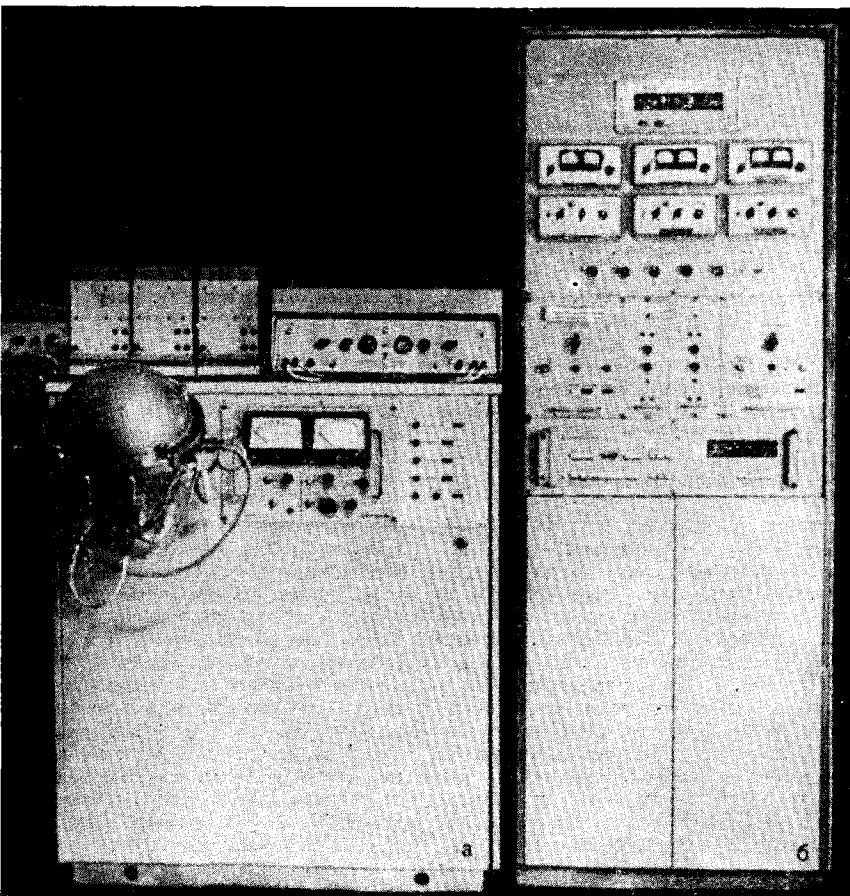
КАЛОРИЗАЦИЯ [от лат. calor (caloris) — тепло] — насыщение поверхности металлических изделий алюминием, содержащимся в порошкообразных смесях, при высокой т-ре; разновидность *алитирования*.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (от лат. calor — тепло и греч. μέτρον — измеряю) — анализ тепловых эффектов физико-химических процессов или *теплотности* различных материалов. К процессам, изучаемым при К. а., относятся фазовые переходы, аннигиляция, перераспределение дефектов в кристаллах, сорбция, растворение и др. К. а. основан на законе Гесса о зависимости теплового эффекта процесса от начального и конечного состояния системы и независимости его от промежуточных состояний и путей перехода, а также на правиле Неймана — Коппа об аддитивности теплотемостей. Калориметрические измерения проводят в разогретом (охлажденном) до рабочей т-ры спец. приборе — калориметре (рис.). Выделяющаяся (поглощающаяся) в исследуемом образце материала тепло (из-за протекания в нем какого-либо процесса) изменяет его т-ру по отношению к т-ре калориметра, вследствие чего возникает теплообмен между поверхностями образца и прибора. Тепловой поток Φ при пост. температурном режиме равен $\Phi = \lambda \theta$, где λ — теплопроводность среды в калориметре; θ — градиент температуры. В адиабатических калориметрах $\lambda = 0$. Наиболее перспективны вакуумные дифференциальные сканирующие калориметры, в к-рых исследуемый и эталонный образцы нагревают электр. током изнутри, а адиабатиче-

ские условия нагрева поддерживают во всем температурном интервале измерения подогревом (электр. ток) оболочки приборов. Такие калориметры позволяют установить распределение тепловых эффектов в интервале от гелиевых т-р до 1500°C , причем величина уверенно регистрируемых тепловых эффектов может составлять десятки доли калорий на грамм массы образца (напр., тепловыделение при аннигиляции и перераспределении дефектов кристаллов в пластически деформированном металле). В изотермических калориметрах теплопроводность среды вели-

ка. Наиболее совершенен среди них ледяной калориметр Бунзена. В этом приборе количество растаявшего льда пропорционально количеству выделившегося в исследуемом образце тепла, а т-ра калориметра в процессе эксперимента не изменяется, т. е. соблюдаются строго изотермические условия. Однако изотермические или полуизотермические (напр., проточные) калориметры отличаются слишком большой термической инертностью. К тому же температурный интервал их использования невелик. Чаще применяют квазиизотермические калориметры, т. н. теплопроводящие калориметры типа Тиана —

Сканирующий адиабатический калориметр АКТ-5, используемый в калориметрическом анализе: а — внешний вид; б — пульс управления.



Кальве, позволяющие получать точные данные о выделении (поглощении) тепла с течением времени при незначительном отклонении т-ры образца от рабочей т-ры прибора. Дальнейшее повышение точности и расширение температурных интервалов применения К. а. связаны с разработкой автоматических систем для поддержания тепловых режимов в калориметре и регистрации тепловых эффектов, с созданием совершенных калориметров широкого назначения. К. а. используют в теплотехнике, металлургии, технологии неорганических материалов.

Лит.: Попов М. М. Термометрия и калориметрия. М., 1954; Гесс Г. И. Термохимические исследования. М., 1958; Лариков Л. Н., Юрченко Ю. Ф. Калориметрическое исследование тепловых эффектов при отпуске закаленных сталей. В кн.: Вопросы физики металлов и металловедения, № 19. К., 1964; Лариков Л. Н., Черепин В. Т., Гуревич М. Е. Автоматизация контроля и исследования металлов. К., 1971; Юрченко Ю. Ф. Изменение теплосодержания при заливании дефектов в пластически деформированных металлах. «Металлофизика», 1975, в. 61; Кальве Э., Прат А. Микрокалориметрия. Пер. с франц. М., 1963. Л. Н. Лариков, Ю. Ф. Юрченко.

КАЛЬЦИЙ [Calcium; от лат. calx (calcis) — известь], Ca — хим. элемент II группы периодической системы элементов; ат. н. 20, ат. м. 40,08. Серебристо-белый металл. В соединениях проявляет степень окисления +2. Природный К. состоит из смеси шести стабильных изотопов, среди к-рых преобладает изотоп ^{40}Ca (96,97%). Из радиоактивных наибольшее значение имеет изотоп ^{45}Ca с периодом полураспада 163,5 дня. Природные соединения К. — известняк, мрамор, гипс — уже в глубокой древности применялись в строительном деле. Металлический К. получил (1808) англ. химик Г. Дэви. Содержание К. в земной коре 2,96%. По распространенности в природе занимает пятое место (после кислорода, кремния, алюминия и железа). В свободном состоянии в природе не встречается. Входит в состав осадочных горных пород и различных минералов: *кальцита*, известняка, мела, мрамора, *доломита*, гипса, *ангидрита*, фосфорита, *флюорита* и др. Соединения К. содержатся так-

же в почве и морской воде. Кристаллическая решетка К. гранецентрированная кубическая с периодом $a = 5,56 \text{ \AA}$, переходящая при т-ре около 450°C в гексагональную. Плотность $1,54 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 851^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 1482^\circ \text{C}$; температурный коэфф. линейного расширения (т-ра $0-300^\circ \text{C}$) $22 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; коэфф. теплопроводности $0,3 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$; удельное электрическое сопротивление $4,6 \cdot 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}$. Модуль упругости 2600 кгс/мм^2 ; предел прочности на растяжение 6 кгс/мм^2 ; предел упругости $0,4 \text{ кгс/мм}^2$; предел текучести $3,8 \text{ кгс/мм}^2$; относительное удлинение 50%; $HB = 20-30$. Химически очень активен и вытесняет почти все металлы из их окислов, сульфидов и галогенидов. При обычной т-ре взаимодействует с кислородом и влагой воздуха, при нагревании воспламеняется и сгорает, образуя окись CaO. Энергично разлагает воду, легко взаимодействует с галогенами. При нагревании с серой образует сульфид CaS. С водородом образует гидрид CaH_2 , со мн. металлами — интерметаллические соединения (см. *Металлиды*) или твердые растворы. По хим. св-вам К. подобен стронцию и барию. Получают К. электролитическим или металлотермическим способом. По электролитическому способу при т-ре 700°C проводят электролиз расплавленной смеси хлористых К. и калия, используя графитовый анод и жидкий меднокальциевый катод, содержащий в начале процесса 30—35% Ca, а в конце процесса 62—65% Ca. Металлический К. из сплава отгоняют при т-ре 1000°C в вакууме $0,1-0,001 \text{ мм рт. ст.}$ Возогнанный К. содержит менее 0,5% примесей. По металлотермическому способу измельченную окись К. смешивают с порошком алюминия, брикетируют и загружают в реторты из хромоникелевой стали. Восстановление проходит при т-ре 1200°C в вакууме $0,01-0,02 \text{ мм рт. ст.}$ Пары К. конденсируются на холодной части реторты. Чистота получаемого этим способом К. составляет 98—99%. Металлотермический способ перспективнее электролитического. К. поддается различным видам мех. обработки. Товарные формы К. —

оливики, листы. Металлический К. применяют для восстановления из окислов или галогенидов рубидия, цезия, циркония, ванадия, тория, урана и некоторых редкоземельных металлов, для раскисления сталей и бронз, для удаления серы из нефтепродуктов, при очистке инертных газов от азота, для поглощения остаточных газов в вакуумных приборах. Сплавы К. со свинцом используют как *антифрикционные материалы*, при изготовлении аккумуляторных пластин и оболочек электр. кабелей. Окись К. находит применение в стекловом произ-ве, для футеровки печей, для приготовления гашеной извести, к-рая в смеси с песком используется в качестве строительного раствора (штукатурки). Карбид К. служит для получения ацетилена. Гидрид К. употребляют для получения редких металлов из окислов, при определении следов воды в органических растворителях, для получения водорода. Безводный хлористый К. используют для осушения органических растворителей и газов, как *катализатор* отверждения некоторых синтетических смол, для полимеризации силиконов. Пропитывание хлористым К. повышает огнестойкость древесины и тканей. Хлорная известь применяется как отбеливающее средство в целлюлозно-бумажной и текстильной пром-сти, а также как дезинфицирующее средство. Сульфид К. применяют для приготовления *люминофоров*, а также в кожевенной пром-сти для удаления волос со шкур. Гидросульфид К. используют в произ-ве искусственного волокна.

Лит.: Доронин Н. А. Металлургия кальция. М., 1959; Родякин В. В. Кальций, его соединения и сплавы. М., 1967; Справочник по редким металлам. Пер. с англ. М., 1965; Рипан Р., Честяну И. Неорганическая химия, т. 2. Пер. с рум. М., 1972.

Ф. Д. Шевченко.

КАЛЬЦИТ [от лат. calx (calcis) — известь], $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ — минерал класса *карбонатов*. Синоним: *известковый шпат*. Хим. состав (%): CaO — 56; CO_2 — 44. Разности по составу: К. марганцовистый, железистый (феррокальцит), цинковистый (цинкокальцит), кобальтистый, свинцовистый, бариевый (бариткальцит), стронциевый, магниевый

и др.; по морфологии и другим свойствам различают: исландский шпат — бесцветный и прозрачный К., пластинчатый, волокнистый, атласный (атласный шпат), мучной, песчанистый и другие. Образует изоморфный ряд с карбонатом марганца и неполные ряды с карбонатами железа, цинка, кобальта и магния. Содержит также примеси стронция, бария, свинца, церия, иттрия и др. Структура островная, сингония тригональная, вид симметрии дитригонально-скеленоэдрический. Кристаллы призматические, пластинчатые или таблитчатые, ромбоэдрические, скеленоэдрические и более сложных форм.

Двойники по (0001), (01 $\bar{1}$ 2), реже по (10 $\bar{1}$ 4) и (02 $\bar{2}$ 1); части параллельные и субпараллельные сростки. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (10 $\bar{1}$ 4). Образует зернистые агрегаты, друзы, сталактиты и сталагмиты, конкреции, оолиты, сферолиты, пизолиты; плотные, пористые, мучнистые и волокнистые скопления; тонкополосчатые полупрозрачные разности (мраморный оникс) и др. Массивный или зернистый К. — главная составная часть *известняков* и *мраморов*. В местах выходов холодных или горячих источников образуются ноздреватые известковые породы — известковые туфы, или травертины. Бесцветный белый К. может быть окрашен примесями железа, меди, марганца и др. элементов или мех. примесями в оттенки серого, желтого, розового, красного, бурого, зеленого и черного цвета (см. *Цвет минералов*). Блеск стеклянный (см. *Блеск минералов*). Одноосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_0 = 1,658$; $n_e = 1,486$, $n_0 - n_e = 0,172$. Некоторые К. флюоресцируют и фосфоресцируют под действием ультрафиолетового излучения, катодных и рентгеновских лучей или солнечного света, иногда наблюдается термо- и триболюминесценция. *Плотность* чистого минерала 2,71 г/см³ при т-ре 20° С. *Твердость* 3. Хрупкий. Растворяется в холодной разбавленной соляной

к-те со вскипанием. Термическая диссоциация при наличии воздуха происходит при t -ре около 900°C . К. — один из наиболее распространенных минералов. Важный породообразующий минерал осадков и осадочных пород как продукт первичного хемогенного осаждения и как биогенный осадок в виде раковин организмов. Содержится в контактно-регионально-метаморфизованных известковых породах — кристаллических известняках, мраморах, кальцифирах; в щелочных магматических породах, в карбонатах, в гидротермальных образованиях и среди продуктов вторичной минерализации. К. может быть получен осаждением из растворов. Его используют как строительный и облицовочный материал, в качестве *флюса* в металлургической пром-сти. Прозрачные разновидности К. (исландский шпат) применяются в оптике.

Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дэна Д. Ж. Д. [и др.]. Система минералогии, т. 2, полут. 1. Пер. с англ. М., 1953; Дир У. А., Хаун Р. А., Зусман Д. Ж. Пороодообразующие минералы, т. 5. Пер. с англ. М., 1966; Костов И. Минералогия. Пер. с англ. М., 1971.

П. В. Зарицкий.

КАМЕЛИН — дисперсионно-твердеющий сплав (типа *куниаля*) на основе меди. Разработан в СССР в 1968. Хим. состав К.: 4,5—4,9% Ni; 4,5—4,9% Al; 2,5—3% Mn; 0,7—1,0% Cr, остальное — медь. Сплав обладает высокой *коррозионной стойкостью* в обычной атмосфере, в тропическом и морском климате, пластичен в горячем и холодном состоянии; упрочняется при *отпуске* после закалки. Поперечное сужение сплава при t -ре 850°C (t -ре горячей прокатки) приближается к 100%. После *закалки* с t -ры 850°C , деформирования и *отпуска* при t -ре 400°C (в течение 2 ч) *микротвердость* К. по ПМТ-3 составляет 300 кгс/мм^2 , предел прочности на растяжение 120 кгс/мм^2 , относительное удлинение 4%. Полуфабрикаты из К. выпускают в виде лент, прутков, проволоки и труб. В холодном состоянии из К. прокатывают фольгу толщиной менее 1 мм, являющуюся заменителем дорогостоящей и токсичной фольги из *бериллие-*

вой бронзы. Камелиновую фольгу используют для формирования зазора в магн. головках магнитофонов и др. приборов. К. применяют для изготовления пружин, эксплуатируемых при t -ре от -60 до 150°C . Благодаря золотистому оттенку К. может использоваться для декоративной облицовки. Состав и св-ва К. определены ТУ 48—21—258—73. См. также *Камелон*.

А. В. Черников.

КАМЕЛОН — дисперсионно-твердеющий сплав на основе меди. Разработан в СССР в 1965 как заменитель *бериллиевой бронзы*. Хим. состав К.: 18—25% Ni; 4,1—4,9% Al; 2,2—3,2% Cr; 4,1—4,9% Mn; до 0,05% Li; до 0,1% Ce, остальное — медь. Сплав сохраняет упругие св-ва в более широком, чем бериллиевая бронза, диапазоне t -р: от -60 до 250°C ; легко поддается обработке в горячем состоянии, пластичен в закаленном состоянии (относительное удлинение 30% и выше), что позволяет прокатывать его с большой степенью обжатия. После *закалки* с t -ры 970°C , деформирования и *отпуска* в течение 30—40 мин при t -ре 530°C твердость сплава составляет 420 кгс/мм^2 , предел прочности на растяжение 150 кгс/мм^2 , предел упругости 115 кгс/мм^2 . Сплав немагнитен, хорошо сваривается аргоно-дуговой и электр. сваркой, паяется мягкими и твердыми *припоями*. Отличается высокой стойкостью к *релаксации*, высокой *коррозионной стойкостью* в условиях тропического климата и в морской воде. Из К. изготавливают упругие чувствительные элементы, пружинящие детали и др. изделия сложной формы. Как материал для пружин К. можно эксплуатировать при t -ре от -60 до 250°C . Полуфабрикаты из К. выпускают в виде полос, прутков и проволоки. Хим. состав и св-ва сплава регламентируют ТУ 48—21—306—73. См. также *Камелин*.

А. В. Черников.

КАМЕННОГО ЛИТЬЯ МАТЕРИАЛЫ — то же, что и *петрургические материалы*.

КАМЕННЫЕ ПРИРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы минерального происхождения, получаемые из горных пород. К. п. м. — распространенные строительные материалы, используемые также в сельском хозяйстве (известняковая и до-

литовая мука), литейном произ-ве (формовочные пески), бумажной (валы, дефибрерные камни), кровельной (посыпка), стекольной (кварцевый песок для шлифования стекла) и др. отраслях пром-сти. Для производства К. п. м. используют изверженные (*граниты, сиениты, диориты, габбро, лабрадориты, базальты, диабазы, андезиты, вулканический туф*), осадочные (*известняки плотные и пористые, доломиты, известковый туф, песчаники, гипсовый камень и др.*) и метаморфические (*мрамор, кварциты и др.*) горные породы. По способу получения К. п. м. подразделяют на дробленые и сортированные, получаемые дроблением горной породы с последующим разделением на фракции (*щебень, мраморная крошка, дробленый песок*); сортированные, получаемые рассевом песчано-гравийной массы; пыльные — изготовляемые распиливанием камнерезными машинами или канатными пилами (блоки, стеновые камни, плиты); молотые — продукт помола (минер. наполнитель, известняковая мука); офактуренные, получаемые спец. обработкой лицевой поверхности (шлифованные, полированные, бучардированные, колотые изделия). По назначению различают нерудные строительные материалы, идущие для произ-ва бетона, асфальтобетона, балласта; пыльные стеновые материалы, используемые гл. обр. для возведения стен зданий; облицовочные материалы — для наружной и внутренней облицовки стен зданий, полов и ступеней лестниц, а также облицовки монументальных сооружений; дорожные материалы, используемые для дорожных покрытий. Осн. виды К. п. м. характеризуются гл. обр. объемной массой, мех. свойствами (пределом прочности на сжатие и растяжение, *устираемостью*, сопротивлением удару, величиной модуля упругости), *водопоглощением, пористостью, морозостойкостью*, иногда *кислотостойкостью и щелочестойкостью*. Для нек-рых из них имеют значение также форма зерен, зерновой состав и наличие примесей. Хим. состав регламентируется только для К. п. м., используемых в сельском хозяйстве и в литейном произ-ве. В зависимости от объемной массы К. п. м. бывают плотные (объемная

масса зерен более $2,2 \text{ г/см}^3$, пористость не менее 10%) и пористые (объемная масса не более $2,2 \text{ г/см}^3$, пористость не менее 10%). К нерудным строительным материалам относятся песчано-гравийная смесь, щебень, гравий и *бутовый камень*. Песчано-гравийная смесь, добываемая из русел рек или из карьеров, является полуфабрикатом и подвергается в дальнейшем переработке на спец. установках. Песок — мелкообломочная рыхлая порода, образующаяся в результате разрушения различных горных пород. К строительному песку обычно относятся зерна размером менее 5 мм, иногда — менее 3 мм. В строительстве используют гл. обр. *природный песок*. Нек-рое применение, особенно в качестве укрупняющей *добавки*, находит также дробленый песок, получаемый дроблением горных пород. Эти виды песка относятся к тяжелым пескам с объемной насыпной массой более 1200 кг/м^3 и крупностью зерен менее 5 мм. Природный песок используют в естественном состоянии с разделением на две или более фракции, или в виде их готовых смесей (природный фракционированный песок), или с улучшенным зерновым составом (природный обогащенный песок). Дробленый песок, изготовляемый из невыветрелых изверженных, метаморфических или плотных осадочных пород, а также из гравия, используется без разделения на фракции и с разделением на две или более фракций (фракционированный дробленый песок). По зерновому составу, характеризующему полным остатком зерен на сите 063 (в процентах) и модулем крупности (M_K), различают песок крупный — остаток более 50%, M_K более 2,5; средний — остаток 30—50%, $M_K = 2,5 \div 2,0$; мелкий — остаток $10 \div 30\%$, $M_K = 2,0 \div 1,5$ и очень мелкий — остаток менее 10%, $M_K = 1,5 \div 1,0$. Для изготовления бетонов, строительных растворов, балластного слоя железнодорожного пути и строительства автомобильных дорог используют песок с модулем крупности более 1,0. Макс. содержа-

ние в песке зерен размером 0,14 мм, а также количество пылевидных, глинистых и илистых частиц регламентируется в зависимости от назначения песка (для бетонов, строительных растворов, асфальтобетона). Природный фракционированный песок получают разделением природного песка на крупную и мелкую фракции. В зависимости от того, по какому зерну происходит разделение, изменяют зерновой состав каждой из фракций. Песок для изготовления бетонов фракционируют по зерну либо размером 1,25, либо размером 0,63 мм. Взаимное засорение фракций допускается в пределах 15%. Количество пылевидных, илистых и глинистых частиц не должно превышать 2%. Природный обогащенный песок, получаемый удалением частиц мелких фракций, характеризуется, по сравнению с природным песком, высоким модулем крупности (от 2,5 до 3,25) и меньшим количеством частиц менее 0,14 мм (не более 5%). В зависимости от прочности исходной породы выделяют марки дробленого песка 800 и 400. При изготовлении песка из гравия используют гравий с показателем дробимости соответственно Др-8 и Др-16. К **п и л е н ы м** **с т е н о в ы м** **м а т е р и а л а м**, получаемым из горных пород (известняков, туфов, *опоки* и т. д.) распиливанием неабразивными режущими инструментами (дисковыми пилами, барами, фрезами), относятся стеновые камни и крупные блоки. Размеры стеновых камней: длина 390, 490, ширина 190, 240, высота 188 мм; крупных стеновых блоков: длина 500—3020, ширина 400—500, высота 820—1000 мм. Отклонения в размерах стенового камня — 3—4, крупных блоков — 8—12 мм. Стеновые камни по пределу прочности на сжатие подразделяют на марки: камни из известняков — 4; 7; 10; 15 и 25; камни и блоки из известняков, туфов и других пород — 35; 50; 75; 100; 125; 150; 200; 300 и 400 (для блоков из известняка допускается также марка 25). Допуск на отклонения от размеров стеновых камней и крупных блоков устанавливают на основании их внешнего вида (отбитых углов, ско-

лов на боковых гранях, подрезов граней), объемной массы (не более 2100 кг/м³), водопоглощения (не более 30%, а для туфа 50%), коэфф. размягчения (не более 0,6) и морозостойкости (15 циклов и более). **О б л и ц о в о ч н ы е** **м а т е р и а л ы** подразделяют на твердые (гранит, диорит, сиенит, лабрадорит, габбро, базальт, диабаз, андезит и др. аналогичные изверженные породы, а также кварцит) с пределами прочности на сжатие не менее 900 и 600 кгс/см²; средней твердости (мрамор, мраморовидный известняк и песчаник) с пределом прочности 500 кгс/см² (у песчаников 300 кгс/см²) и мягкие (известняк, доломит, травертин, гипсовый камень и вулканический туф) с пределом прочности 50—200 кгс/см². Облицовочные материалы используют гл. обр. в виде облицовочных плит, получаемых распиливанием блоков, а также в виде архитектурно-строительных изделий. Различают блоки первого типа с размерами по длине от 0,9 до 2,6, по ширине от 0,5 до 1,3 и по высоте от 0,9 до 1,3 м и второго типа — с ограничением одного из размеров блоков от 0,15 до 0,4 м. В пределах первого типа выделяют блоки крупные, средние и мелкие. Облицовочные плиты изготовляют с фактурами абразивными (полированной, лощеной, шлифованной, пиленой) и фактурами скалывания (рифленной, термоструйной, точечной, бороздчатой). Толщина изделий при абразивных фактурах — от 15—20 до 20—60, при фактурах скалывания — от 20—50 до 30—140 мм (в зависимости от вида пород). К **д о р о ж н ы м** **м а т е р и а л а м** относятся камни бортовые, *брусчатка*, камень колотый и булыжный. Бортовые камни предназначены для отделения проезжей части улиц и дорог от тротуаров, площадок, трамвайных остановок и дорог от обочин; брусчатка — для дорожной одежды и полос укрепления на автодорогах I—III категорий; камень колотый и булыжный — для покрытий автодорог IV и V категорий и устройств основания под усовершенствованные покрытия автодорог. В зависимости от формы и области применения бортовые камни подразделяют на прямые, криволинейные и угловые. Размеры прямых бортовых кам-

ней: по высоте — от 200 до 600, по ширине верха — 100—200, низа — 10—230, по длине — 700—1000 и 700—2000 мм. Бортовые камни изготовляют из изверженных и плотных осадочных пород с пределом прочности их на сжатие соответственно не менее 1000 и 600 кгс/см² и морозостойкостью не менее 100 и 50 циклов. К молотым К. п. м. относится минер. порошок, получаемый из известняков и доломитов марки не ниже 200 с ограниченным количеством загрязняющих примесей (до 5%); в нем количество зерен, проходящих через сито с отверстиями 0,071 мм, должно быть не менее 70%. Для приготовления асфальтобетонных смесей используют и известняковую муку — продукт размолва известняков и доломитов, мергелистых известняков, мела и др. пород, состоящих в основном из углекислого кальция и углекислого магния. Содержание $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ в известняковой муке должно быть не менее 85%, содержание влаги не более 12%. Крупность зерен известняковой муки характеризуется полным остатком (в процентах) на сите с размером сторон ячеек в свету: 1,6 мм — 0; 1,0 мм — 10; 0,18 мм — 40. Пористые К. п. м. применяют гл. обр. для приготовления теплоизоляционных и конструктивных *легких бетонов*. Объемная насыпная масса их не более 1000 кг/см³ при крупности зерен от 5 до 40 мм (щебень, гравий) и не более 1200 кг/см³ при крупности зерен до 5 мм (пористый песок). Природные пористые заполнители бывают вулканического (из *пемзы*, вулканического туфа или *шлака*) и осадочного происхождения (из карбонатных пород — пористых известняков, доломитов и др. и кремнеземистых пород — опок, трепелов и т. д.). Получают их рассевом или дроблением и рассевом. По объемной насыпной массе пористые заполнители подразделяют на марки от 100 до 1200, а по прочности на сжатие (ГОСТ—9758—68) крупные пористые заполнители различают марок от П35 до П400. Лит.: Цигельный П. М. [и др.]. Предприятия по производству щебня. М., 1967; Производство щебня из карбонатных пород. М., 1971; Буянов Ю. Д., Гейман Л. М., Давидович А. П. Добыча и переработка нерудных строительных материалов (Краткий справочник). М., 1972; Справочник по добыче и перера-

ботке нерудных строительных материалов. Л., 1975.

И. Б. Шаин.

КАНАТНАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся способностью приобретать высокую прочность и сохранять пластичность в результате интенсивного пластического деформирования. Обжатие ее достигает 70—80%. Применяется с 60-х гг. 19 в. Для свивки канатов используется в виде холоднотянутой проволоки, изготавливаемой волочением заготовки после *патентирования*. Относится к *углеродистой стали* с ограниченным содержанием примесей, повышающих стойкость переохлажденного *аустенита*. Кроме углерода (0,5—0,8%, реже 0,35—0,95%), К. с. содержит марганец (0,5—0,8%), кремний (0,17—0,37%), серу и фосфор (не более 0,030% каждого). Уменьшение содержания серы и фосфора (до 0,015% каждого) в три—пять раз повышает технический ресурс канатов. Различают К. с. обыкновенного качества (класс ОК), качественную (класс КК) и высококачественную (класс ВК), в к-рых содержание нежелательных никеля, хрома и меди составляет соответственно до 0,15—0,20, до 0,12—0,15 и до 0,10—0,12%. В качестве К. с. обычно используют *мартеновскую сталь* (марок 50, 60 и 70), раскисленную алюминием или титаном и цирконием. Поскольку эти *раскислители* образуют тугоплавкие соединения, понижающие пластичность холоднотянутой проволоки, предпочтительнее раскисление *ферросилицием* и *ферромарганцем*, которые уменьшают загрязненность и *обеспечивают* более однородное аустенитное зерно горячекатаной заготовки. К. с. выплавляют преим. в основных мартеновских или электр. печах, гл. обр. скрап-рудным процессом, чтобы меньше загрязнить металл хромом, никелем, медью, свинцом, сурьмой, молибденом, азотом и др. нежелательными элементами. Ограничение содержания легирующих элементов и примесей вызвано стремлением обеспечить полное завершение изотермического распада переохлажденного аустенита (см. *Диаграмма изотермическая*) за короткое время,

обычно не превышающее 1 мин, в условиях поточной *термической обработки*. Сталь поставляют в виде горячекатаных заготовок диаметром 5—10 мм, охлажденных на воздухе после прокатки (группа I) или сорбизированных (группа II). На поверхности заготовок не должно быть трещин, плен, закатов, расслоений и заусенцев, в макроструктуре не допускаются рыхлоты, раковины, трещины и пустоты, глубина обезуглероженого слоя не должна превышать 2,5% (класс ОК), 2,0% (класс КК) или 1,5% (класс ВК). Из К. с. изготавливают холоднотянутую проволоку, используемую для свивки канатов различного назначения, пружин, проволоочной арматуры в предварительно напряженных железобетонных конструкциях, для оплетки рукавов высокого давления и шинного металлокорда. Разработаны способы термической обработки горячекатаных заготовок (*скоростной отпуск*, безванное электропатентирование), не связанные с ограничением продолжительности изотермического распада аустенита, в связи с чем отпадает необходимость в жесткой регламентации содержания углерода и сопутствующих примесей в хим. составе сталей для холоднотянутой проволоки. Применение этих способов позволяет значительно расширить класс К. с., в к-рый могут быть включены все углеродистые, а также легированные стали с закалкой на мартенсит и высокотемпературным *отпуском*. Хим. состав и мех. св-ва К. с. приведены в ОСТе 14—2—74.

Лит.: Владимиров Ю. В. Канаты и канатная проволока. В кн.: Прокатное и волочильное производство. 1970. М., 1971. Ю. Я. Мешков.

КАНКРИНИТ (по имени русского государственного деятеля Е. Ф. Канкрин), $\text{Na}_2\text{Ca} [\text{CO}_3/(\text{AlSiO}_4)] \times 2\text{H}_2\text{O}$ — минерал класса *силикатов*. Хим. состав (%): Na_2O — 17,8; CaO — 4,0; SiO_2 — 38,7; Al_2O_3 — 29,3; CO_2 — 6,3; H_2O — 3,9. Часто анион $[\text{CO}_3]^{2-}$ замещается анионом $(\text{SO}_4)^{2-}$. Сульфатсодержащий К. наз. *вишневитом*. Структура карбонатная, сингония гексагональная, вид симметрии дигексагонально-ди-

пирамидальный. Обычно образует сплошные зернистые агрегаты, реже — кристаллы призматического габитуса. Спайность совершенная по (10 $\bar{1}$ 0). Плотность 2,5 г/см³. Твердость 5,5—6,0. Цвет белый, серый, желтый, голубой, розовый (см. *Цвет минералов*). Обесцвечивается при нагревании до т-ры 500° С, обладает термолюминесценцией. Окраска радиационная. Слабо люминесцирует в ультрафиолетовых и рентгеновских лучах. Отличается резким пьезоэлектрическим эффектом, превышающим эффект *кварца* более чем в 10 раз. Блеск (см. *Блеск минералов*) на плоскостях спайности стеклянный, на изломе жирный. Одноосный, отрицательный. Показатели преломления: карбонат-канкринитов $n_m = 1,515$ — 1,524, $n_p = 1,491$ — 1,502, $n_m - n_p = 0,022$ — 0,024; сульфат-канкринитов $n_m = 1,509$ — 1,493, $n_p = 1,500$ — 1,492, $n_m - n_p = 0,009$ — 0,001. Генетически связан с нефелиновыми *сиенитами* и с *негматитами* в нефелиновых *сиенитах*. Встречается в ассоциации с *нефелином*, *содалитом* и *цеолитами*. К. синтезирован гидротермальным способом из гелей $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2$ ($n = 1$ — 2) при избытке карбоната натрия и т-ре от 300 до 420° С. При избытке гидроокиси натрия и отсутствии карбонат-ионов в исходной шихте при т-ре 390° С образуется К. состава $\text{Na}_4\text{Al}_6\text{Si}_6 \cdot x\text{NaOH} \cdot y\text{H}_2\text{O}$. Перспективен как *пьезоэлектрический материал*.

Лит.: Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Д. Ж. Породообразующие минералы, т. 4. Пер. с англ. М., 1966.

В. П. Беличенко.

КАОЛИН (от назв. местности Каолин в Китае) — горная порода, глинистая часть к-рой состоит преим. из *каолинита*, нередко с примесью *галлуазита*. В генетическом отношении различают К. первичные, залегающие на месте образования (кора выветривания), и вторичные, или переотложенные, образующие залежи в осадочных толщах. Первичные К. образуются гл. обр. в результате выветривания существенно полево-

спатных пород (гранитов, гнейсов, аплитов, анортозитов и др.), реже — вследствие гидротермальной деятельности. Для них характерна унаследованная структура материнских пород, сохраняющаяся благодаря наличию псевдоморфоз (см. *Псевдоморфизм*) каолинита и остаточным минералам. Вторичные К. — осадочные породы, образовавшиеся в результате размыва и переотложения каолиновой коры выветривания (первичные К.) и избавившиеся, в большинстве случаев, от подавляющей части устойчивых, неглинистых минералов. Обычно К. тонкоотмучены, со слоистой текстурой и пелитовой, реже алевропелитовой структурой. Вторичные К., сложенные неупорядоченным каолинитом с примесью др. глинистых минералов и обладающие повышенной пластичностью, наз. **каолиновыми глинами**. Первичные К. с повышенным содержанием окиси K_2O наз. щелочными. Хим. состав первичных К. зависит от соотношения главнейших породообразующих минералов (%): SiO_2 — $50 \div 75$; Al_2O_3 — $17 \div 34$; Fe_2O_3 — $0,2 \div 2,5$; TiO_2 — $0,2 \div 2,0$; CaO — $0,1 \div 1,0$; MgO — $0,1 \div 0,5$; K_2O — $0,3 \div 8,5$; NaO — $0,1 \div 1,0$; потери при прокаливании $3,5 \div 10\%$. Цвет К. белый, может изменяться до палевого, желтого и бурого из-за примесей окислов железа и титана. Т-ра спекания $1350—1450^\circ C$, т-ра плавления $1730—1820^\circ C$. Верхние пределы характерны для наиболее чистых, беспримесных К. Реологические и физико-хим. св-ва обогащенных К. в значительной степени определяются структурными и морфологическими особенностями каолинита. К. широко распространены в природе. Обычно они представлены землистой массой, к-рая легко размокает в воде и образует более или менее пластичное тесто, сохраняющее при высыхании приданную ему форму. После обжига К. приобретает твердость камня. Благодаря сочетанию таких св-в и особенностей, как высокая дисперсность, белизна, каталитическая способность, хим. инертность, высокое содержание глинозема, электрическое сопротивление, огнеупорность, малая твердость и др., К. является одним из наиболее универсальных видов минерального

сырья. Первичные К. применяют в пром-сти в основном после обогащения — отделения глинистой составляющей от грубозернистой. Вторичные К. обычно не обогащают. Щелочные К. используют для извлечения полевощпатового концентрата или в качестве природной шихты. К. применяют в целлюлозно-бумажной (для мелования бумаги в качестве наполнителя) и электротехнической (изоляторы) пром-сти, в керамическом произ-ве (в составе фарфоровых и фаянсовых масс), в пром-сти огнеупорных материалов, в лакокрасочном произ-ве и др. К. используют также для произ-ва *силумина, электрокорунда, пестицидов, хлористого и сернокислого алюминия*. В сварочном произ-ве из него изготовляют электродные покрытия. К. — потенциальное сырье для произ-ва алюминия.

Лит.: Неметаллические ископаемые СССР, т. 4. Глины и каолин. — Глины отбеливающие. М.—Л., 1941; Каолиновые месторождения и их генезис. М., 1968; Сивонков В. И. Изучение и оценка месторождений первичных каолинов. М., 1969; Грим Р. Е. Минералогия и практическое использование глин. Пер. с англ. М., 1967.

Ю. А. Русько.

КАОЛИНИТ, $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ — минерал класса *силикатов*. По тонким деталям структуры выделяют политипные модификации: **дикки** и **накрит**. Хим. состав (%): Al_2O_3 — 39,5; SiO_2 — 46,5; H_2O — 14,0. Структура слоистая (типа 1 : 1), каждый ее слой состоит из двух составляющих: кремнекислородной и алюмогидроксильнокислородной сеток. Сингония триклинная, вид симметрии пинакоидальный. Различают К. с различной степенью совершенства кристаллической структуры. Образуется в виде землестых рыхлых скрытокристаллических скоплений, состоящих из индивидуальных пластинчатых псевдогексагональных кристалликов размером преим. от 0,2 до 1—5 мкм. Спайность (см. *Спайность минералов*) весьма совершенная по (001). *Плотность* 2,63 г/см³. *Твердость* 2—2,5. Цвет скоплений белый, иногда с голубоватым или буроватым оттенком (см. *Цвет минералов*); отдельные кристаллики бесцветны. Блеск (см. *Блеск минералов*) матовый и перламутровый. *Плеохроизм* очень

слабый. Двухосный, отрицательный; $2V = 24 - 50^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,560 - 1,570$; $n_m = 1,559 - 1,569$; $n_p = 1,533 - 1,565$. Скопления К. легко размокают в воде, приобретая пластичность, и диспергируются с образованием суспензий. Емкость обменных оснований относительно др. глинистых минералов мала (3—15 мг-экв на 100 г). Дифференциальная кривая нагревания К. характеризуется интенсивным эндотермическим эффектом при t -ре 570°C (дегидроксидация и разрушение кристаллической структуры) и экзотермическими эффектами при t -рах около 980 и 1200°C (кристаллизация γ - Al_2O_3 , муллита и кристобалита). К. широко распространен в природе, входит в состав различных осадочных пород, составляет крупные месторождения (каолинов), образованные в экзогенных условиях в результате выветривания различных алюмосиликатных, гл. обр. полевошпатовых, пород. В меньших масштабах образуется в гидротермальных условиях. Искусственные аналоги К. получены гидротермальным синтезом на основе алюмокремниевых гелей или природных алюмосиликатов. В качестве главной составной части каолинов и каолиновых глин К. используют для произ-ва бумаги (наполнитель и покрытие), резины (наполнитель и усилитель), фарфора, фаянса, огнеупорных материалов, красок и др. К. — потенциальный источник получения алюминия.

Лит.: Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Грим Р. Минералогия глин. Пер. с англ. М., 1959; Дир У. А., Хаун Р. А., Зусман Д. Ж. Породообразующие минералы, т. 3. Пер. с англ. М., 1966; Грим Р. Минералогия и практическое использование глин. Пер. с англ. М., 1967.

Ю. А. Русько.

КАПЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ — анализ хим. состава материалов, основанный на реакции между несколькими каплями раствора исследуемого вещества и реагентов; метод полуквантитативного и микрохимического качественного анализа. Становление К. а. как самостоятельного аналитического метода исследования относится к 1920—времени публикации результатов ра-

бот на эту тему советских ученых. В К. а. используют характерные цветные реакции (не образуют таких реакций ионы щелочных и щелочно-земельных металлов), результаты к-рых (окраску образовавшихся продуктов) наблюдают визуально. Быстрота исследования, несложность средств, малая затрата исследуемого вещества и реагентов делают К. а. особенно ценным, если то или иное вещество необходимо обнаружить быстро. Продолжительность проведения К. а. — в 3—10 раз меньше времени, необходимого для анализа вещества обычными методами качественного анализа. К тому же отпадает необходимость применять (как в сероводородном методе качественного анализа) сероводород. Средства К. а. — полоски обычной и пропитанной реагентами фильтровальной бумаги, микроиглы, часовые стекла, стеклянные капилляры и палочки и др. При проведении реакций на фильтровальной бумаге капля раствора не должна свисать с кончика капилляра и падать на бумагу: пятно на ней должно образоваться от прикосновения капилляра. После появления пятна размером 2—3 мм капилляр быстро отнимают от бумаги, чтобы снять остаток раствора. Капли должны впитываться бумагой, не расплываясь на ней. Для капельных реакций используют беззольные фильтры в виде полосок шириной 12—15 мм. Микроиглы и часовые стекла служат для выпаривания раствора, стеклянные капилляры — для перенесения раствора, стеклянные палочки — для его перемешивания. Растворы реагентов хранят в небольших каплеуловителях, пробки к-рых снабжены капиллярами. В К. а. используют газообразные реагенты: бром, аммиак, пары кислот. Полуколичественное определение (капельную колориметрию) осуществляют, сравнивая интенсивность окраски пятна на фильтровальной бумаге, образовавшихся при взаимодействии стандартного и исследуемого раствора, с соответствующим реагентом. Методика капельной колориметрии с небольшими изменениями используется и в бесстружковом анализе. Чувствительность капельных реакций характеризуют открываемым (обнаруживаемым) минимумом исследуемого ве-

щества или его предельным разбавлением. Открываемый минимум в неорганическом анализе составляет обычно $0,1-0,01 \text{ мкг}$, а предельное разбавление, выражаемое в частях раствора, где содержится одна часть открываемого вещества, изменяется в широких пределах, доходя до $1:10^6 \div 1:10^8$. К. а. применяют для идентификации и контроля чистоты веществ, анализа руд и минералов в полевых условиях и др.

Лит.: Тананаев Н. А. Капельный метод. М.—Л., 1954; Файгль Ф., Ангер В. Капельный анализ неорганических веществ, т. 1—2. Пер. с англ. М., 1976.

[Г. Т. Михальчишин.]

КАПИЛЛЯРНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ (от лат. capillaris — волосной) — дефектоскопия, основанная на явлениях капиллярности, а также сорбции, диффузии, световом и цветовом контрастах дефектоскопических веществ. Применяется со второй половины 18 в. Физические основы К. д. вытекают из трех принципиальных ее особенностей. Первая особенность заключается в необходимости заполнить (пропитать) индикаторной жидкостью (пенетрантом) отыскиваемые на исследуемой поверхности дефекты (несплошности), что и происходит под действием капиллярных сил. Вторая особенность — необходимость проявления, т. е. извлечения индикаторной жидкости из дефектов с их локализацией на исследуемой поверхности. Эта особенность связана с использованием сорбции и диффузии индикаторной жидкости и проявляющих веществ. Третья особенность состоит в необходимости обнаружить места выхода индикаторной жидкости на исследуемую поверхность и таким образом определить наличие дефектов. Этот процесс основан на световом и цветовом конт-

растах исследуемой поверхности и индикаторной жидкости. Осн. методами К. д. являются *цветной метод дефектоскопии*, *люминесцентный метод дефектоскопии* и *люминесцентно-цветной метод дефектоскопии*. В цветном методе используют окрашивающую (обычно красную) индикаторную жидкость, в люминесцентном — индикаторную жидкость, люминесцирующую в ультрафиолетовых лучах, в люминесцентно-цветном методе — индикаторную жидкость, обладающую световым и цветовым контрастами. Разновидностью К. д. является *керосино-меловой метод дефектоскопии*. К. д. позволяет обнаруживать сквозные и несквозные (но выходящие на поверхность) дефекты, проверять качество изделия в полевых условиях при отсутствии электроэнергии (цветной метод), выявлять дефекты в любых материалах, включая немагнитные и неметаллические. К. д. предшествует внешний осмотр изделия для выявления и устранения относительно грубых дефектов. Осн. технологические операции в различных методах К. д. и их последовательность, вплоть до собственно дефектоскопической операции, идентичны. Первая из них состоит в подготовке исследуемой поверхности: тщательной очистке от различных загрязнений с помощью бензина, ацетона или водных очистителей, травления, обработки песком и т. п. с последующим прогревом поверхности. Вторая операция — нанесение на поверхность индикаторной жидкости: при цветном методе, напр., состава: керосина — 80%, скипидара — 20%, красителя (судан-III или IV) — 15 г на 1 л жидкости; при люминесцентном

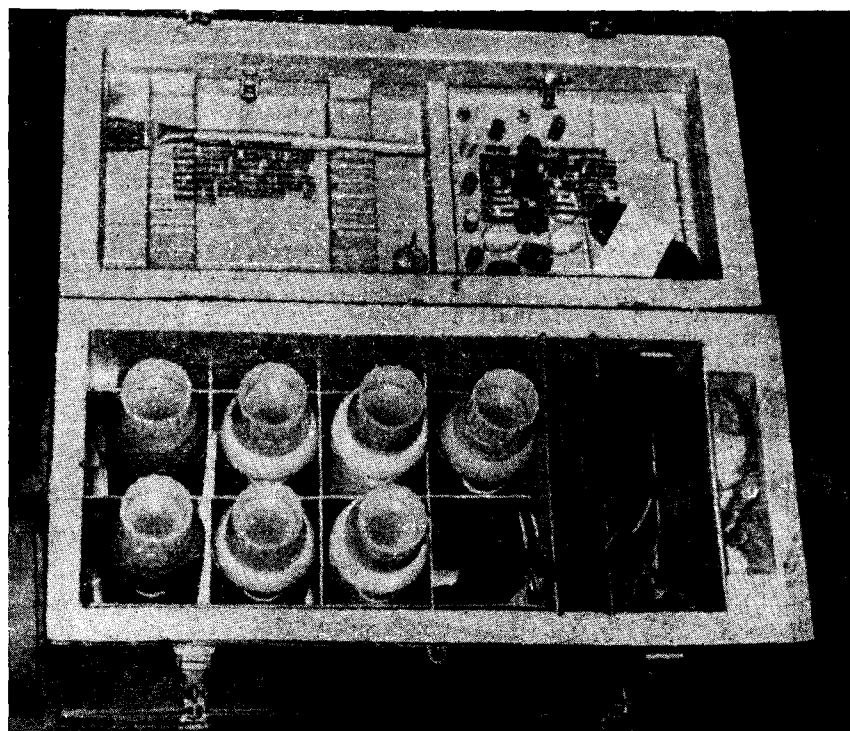
Условный уровень чувствительности капиллярной дефектоскопии

Чувствительность	Размер выявляемого дефекта, мм		
	Ширина	Глубина	Длина
Особо высокая	Менее 1	До 10	До 0,1
Высокая	До 10	До 100	До 1
Средняя	До 100	До 1000	До 10
Низкая	100 и более	1000 и более	10 и более

методе, напр., состава: керосина — 850 см^3 , нориола А — 150 см^3 . Обладая высокими проникающими свойствами, индикаторная жидкость под действием капиллярных сил попадает в дефекты. Чтобы ускорить пропитывание и полнее заполнить дефекты индикаторной жидкостью, применяют вакуумный, компрессионный, ультразвуковой и др. методы пропитывания. Спустя 10—15 мин, в течение которых индикаторная жидкость может быть нанесена несколько раз, ее удаляют с поверхности, а саму поверхность промывают и сушат. Третья операция — нанесение на поверхность проявляющих веществ: при цветном методе, напр., состава: 60% гидролизного спирта, 40% воды, 350 г каолина на 1 л жидкости; при люминесцентном методе, напр., состава: спирта этилового — 1000 см^3 , каолина — 350 г. После нанесения проявляющих веществ поверхность

изделия сушат горячим (т-ра 70—80° С) воздухом. В процессе заключительной (собственно дефектоскопической) операции устанавливают наличие и характер дефектов. С этой целью исследуемую поверхность осматривают при дневном свете (цветной метод) или при освещении ультрафиолетовыми лучами (люминесцентный метод). Если с помощью К. д. проверяют герметичность изделий, проявляющее вещество наносят на одну их сторону, а индикаторную жидкость (после высыхания проявляющего вещества) — на противоположную. К. д. — принципиально простой метод, позволяющий обходиться несложными средствами контроля (рис.). Технологический режим К. д. (продолжительность операций, т-ра и пр.) зависит от чувствительности контроля, характеристик выявляемых дефектов, от условий контроля,

Большой набор аэрозольных баллонов с принадлежностями для цветной и люминесцентной капиллярной дефектоскопии.



особенностей проверяемого изделия и его материала, состава используемых индикаторных жидкостей и проявляющих веществ, от производительности аппаратуры. Чувствительность К. д. оценивают размерами минимальных по ширине, глубине и длине дефектов (табл. с. 541). Особо высокая чувствительность — при чистоте контролируемой поверхности не ниже 5-го класса. К. д. применяют для выявления выходящих на поверхность невидимых или плохо видимых глазом дефектов: трещин, непроваров, пор, рыхлот и др. несплошностей в различных материалах, полуфабрикатах и изделиях любой формы, включая сварные и паяные. Области применения К. д. — авиационная пром-сть, турбостроение, атомная энергетика, нефтяная и хим. промышленность и др.

Лит.: Карякин А. В., Воробьев А. С. Люминесцентная и цветная дефектоскопия. М., 1972; Неразрушающие испытания (Справочник), кн. 1. Пер. с англ. М.—Л., 1965; Ретти П. Неразрушающие методы контроля металлов. Пер. с венг. М., 1972. А. А. Трущенко.

КАРБИД КРЕМНИЯ (от лат. *carbō* — уголь и греч. *εἶδος* — вид, род) — то же, что и *карборунд*.

КАРБИДОКРЕМНИЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ — то же, что и *карборундовые материалы*.

КАРБИДЫ — соединения углерода с более электроположительными элементами. Впервые были получены в 80-х гг. 19 в. франц. химиком и металлургом А. Муассаном взаимодействием металлов или их окислов с сажей в электрической (дуговой) печи. По характеру хим. связи и физико-хим. св-вам различают К. солеобразные, ковалентные и металлоподобные. К. солеобразным относятся К. s-металлов — щелочных, щелочноземельных и алюминия. Отличаются высокой хим. активностью — легко разлагаются водой с выделением ацетилена (Li_2C_2 , Na_2C_2 , K_2C_2 , CaC_2 , SrC_2 и BaC_2) и метана (Al_4C_3), являясь продуктами замещения водорода в ацетилене и метане соответствующими металлами. Представляют собой порошки белого или сероватого цвета. К. щелочных металлов разлагаются при т-ре около 800°C . Кроме фаз M_2C_2 , известны К. со сложными анионами из атомов углерода: MC_8 , MC_{16} , MC_{24} , MC_{36} ,

MC_{48} и MC_{60} . Способность к образованию таких К. увеличивается от натрия к цезию. Это — соединения с графитоподобными решетками, в к-рых атомы металлов расположены между слоями из атомов углерода. *Электропроводность* таких К. несколько выше электропроводности графита. Дикарбиды щелочноземельных металлов кристаллизуются в тетрагональной решетке типа CaC_2 с изолированными парами из атомов углерода, у них высокое удельное электрическое сопротивление. При нагревании в вакууме диссоциируют на металл и углерод. Т-ра разложения $1800\text{--}2300^\circ\text{C}$. Образуют полиморфные модификации, количество к-рых уменьшается от CaC_2 к SrC_2 и BaC_2 . К. алюминия — порошок желтого цвета. Т-ра плавления 2100°C . Стойкий в вакууме до т-ры 1200°C , при т-ре 2200°C возгоняется без плавления. Легко разлагается водой с выделением метана. К. ковалентным относят К. sp-элементов — бериллия, бора и кремния. К. бериллия плавится при т-ре 2400°C . Обладает высокой твердостью. Удельное электрическое сопротивление около 10^{-6} мком·см. К. бора B_4C отличается широкой областью гомогенности, кристаллизуется в ромбоэдрической решетке, характер проводимости полупроводниковый с большой шириной запрещенной зоны. Обладает наиболее высокой из всех К. хим. стойкостью. *Микротвердость* близка к 5000 кгс/мм². К. кремния в чистом виде — бесцветные блестящие кристаллы. К. кремния технической чистоты — кристаллы зеленого или черно-синего цвета. Различают К. кремния кубический ($\beta\text{-SiC}$) и гексагональный ($\alpha\text{-SiC}$). Кубический К. кристаллизуется в алмазоподобной решетке, гексагональный К. образует большое число структурных форм. Значение удельного электрического сопротивления определяется наличием примесей и изменяется в широком интервале. В чистом виде К. кремния — изолятор. Примеси, в зависимости от их количества и природы, придают ему полупроводниковый характер с n и p-проводимостью. К. кремния химически очень стоек.

Кубический К. кремния не разлагается минеральными к-тами и их смесями и растворами щелочей. Гексагональный К. кремния разлагается смесью азотной и фтористоводородной к-т, а также фосфорной к-той; отличается высокой твердостью. К металлоподобным относятся К. скандия, иттрия, лантана, лантаноидов (табл. 1), *актиноидов*, переходных металлов IV—VII групп периодической системы и металлов семейства железа. Наиболее характерные карбидные фазы лантаноидов

M_2C_3 и MC_2 — порошки серого и золотистого цвета. К. переходных металлов представляют собой *внедрения фазы* или близкие к ним структуры, в к-рых атомы углерода внедрены в октаэдрические или тетраэдрические пустоты плотноупаков. металлических подрешеток. Переходные металлы IV группы периодической системы образуют монокарбиды с широкими областями гомогенности, кристаллизуются в кубической решетке типа NaCl. Металлы Va подгруппы образуют фазы M_2C и MC . Фазы M_2C кристаллизуются в гексагональной решетке типа Mo_2C , фазы MC — в кубической решетке типа NaCl.

Таблица 1. Структура и свойства карбидов скандия, иттрия, лантана и лантаноидов

Карбид	Кристаллическая решетка	$\alpha \cdot 10^6, \text{град}^{-1}$	$\rho, \text{мком} \cdot \text{см}$	$t_{\text{пл}} (\text{разл}), ^\circ\text{C}$
ScC	Кубическая	11,4	274	1800
Y_2C_3	»	10,3	446	1830
La_2C_3	»	14,6	340	1430
Ce_2C_3	»	14,7	398	1530
Pr_2C_3	»	13,5	322	1626
YC_3	Тетрагональная	9,2	30	2215
LaC_2	»	11,9	45	2360
CeC_2	»	13,5	60	2290
PrC_2	»	12,1	39	2147
NdC_2	»	9,3	44	2207
SmC_2	»	11,4	—	—
GdC_2	»	13,5	30	2265
TbC_2	»	10,2	35	—
DyC_2	»	11,4	31,1	2245
ErC_2	»	12,4	44,8	2280
TuC_2	»	10,7	51,5	2180

Таблица 2. Структура и свойства карбидов переходных металлов

Карбид	Кристаллическая решетка	$t_{\text{пл}} (\text{разл}), ^\circ\text{C}$	$H, \text{кгс/мм}^2$	$\rho, \text{мком} \cdot \text{см}$
TiC	Кубическая	3067	2900	52,5
$ZrC_{0,97}$	»	3420	2600	50,0
$HfC_{0,99}$	»	3828	2700	45,0
$VC_{0,87}$	»	2648	2900	65,0
$NbC_{0,99}$	»	3600	2400	51,1
$TaC_{0,98}$	»	3983	2500	42,1
$Cr_{23}C_6$	»	1500	970	127
Cr_7C_3	Гексагональная	1780	1380	109
Cr_3C_2	Ромбическая	1810	1330	75
Mo_2C	Гексагональная	2400	1500	71
WC	»	2776	2100	19,2

В ряду 3d-переходных металлов число карбидных фаз увеличивается до марганца ($Mn_{23}C_8$, $Mn_{15}C_4$, Mn_5C_2 , Mn_7C_3 , Mn_3C) и затем уменьшается при переходе к металлам VIII группы. Стойкие карбидные фазы технеция, рения и платиноидов не получены. К. переходных металлов — серые порошки с металлическим блеском, обладают металлическим характером проводимости, высокой т-рой плавления (разложения), твердостью и хим. стойкостью (табл. 2).

К. получают из простых веществ в вакууме или в среде восстановительного газа, а также взаимодействием окислов металлов с углеродом в вакууме или в среде восстановительного газа, взаимодействием металлов или их окислов с углеродсодержащими газами, взаимодействием газообразных соединений некоторых металлов (*галогенидов*) и углерода в среде водорода.

Процессы осуществляют в электр. печах сопротивления, дуговых печах, а также с использованием дуговой или высокочастотной плазмы. Монокристаллы К. получают взаимодействием галогенидов металлов с углеродсодержащими газами в среде водорода, зонной плавкой и выделением из растворов легкоплавких металлов. К. применяют в качестве чехлов металлических термопар погружения, нагревателей высокотемпературных электр. печей, испарителей, катодов мощных генераторных устройств, резисторов. Кроме того, К. используют в производстве чугунов, сталей и различных сплавов, как абразивные материалы, коррозионностойкие материалы, восстановители, раскислители.

Лит.: Карбид кремния. К., 1966; Косолапова Т. Я. Карбиды. М., 1968; Мержанов А. Г., Боровинская И. П. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений. «Доклады АН СССР», 1972, т. 204, № 2; Болгар А. С., Турчанин А. Г., Фесенко В. В. Термодинамические свойства карбидов. К., 1973; Самсонов Г. В., Упадхья Г. Ш., Мешпор В. С. Физические материалыведение карбидов. К., 1974; Самсонов Г. В., Косолапова Т. Я., Домасевич Л. Т. Свойства, методы получения и области применения тугоплавких карбидов и сплавов на их основе. К., 1974; Стормс Э. Тугоплавкие карбиды. Пер. с англ. М., 1970; Тот Л. Карбиды и нитриды непереходных металлов. Пер. с англ. М., 1974. Т. Я. Косолапова.

КАРБОНАТЫ — соли угольной кислоты. Природные ($CaCO_3$) и искусственные (поташ K_2CO_3) К. использовались с давних времен. Широко распространены в природе в виде минералов: мела, мрамора, кальцита, магнезита, доломита, малахита, троны и др. К. известны только для металлов, образующих основные окислы; для металлов, образующих амфотерные окислы, их в большинстве случаев получить не удается. Для хим. элементов, образующих кислотные окислы, К. не известны. Различают К. нормальные (напр., Na_2CO_3 , $CdCO_3$, $La_2(CO_3)_3$) и кислые — $NaHCO_3$, $KHCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$ и др. Кислые К. часто наз. бикарбонатами. Для многовалентных хим. элементов возможны основные К. — $Cu_2(OH)_2CO_3$, $La(OH)CO_3$ и др. К. могут образовывать двойные соли (например, $CaCO_3 \cdot MgCO_3$) и кристаллогидраты ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ и др.). Образование комплексов соединений для них малохарактерно. Все К. представляют собой кристаллические твердые тела. Кристаллические решетки К. — ионные, в состав их входят как самостоятельные единицы ионы металла и анионы CO_3^{2-} (или HCO_3^-). Термостойкость К. невысока: почти все они разлагаются с выделением ангидрида угольной кислоты — углекислого газа, не достигая т-ры плавления. Это св-во весьма важно, поскольку позволяет легко получать окислы металлов термическим разложением соответствующих К. (напр., негашеную известь обжигом известняка). Некоторые К. (норм. соли щелочных металлов) удается расплавить в среде углекислого газа или под определенным его давлением. Эти расплавы представляют собой типичные ионные жидкости. К. обычно бесцветны. Цвет окрашенных К. обуславливается природой иона металла. Некоторым К. свойствен полиморфизм ($CaCO_3$: кальцит—арагонит и др.). К. всех элементов, кроме щелочных и бериллия, плохо растворимы в воде. Бикарбонаты щелочных металлов (кроме лития) растворяются в воде хуже, чем К., а бикарбонаты

щелочноземельных металлов — лучше. Растворимость в органических растворителях К. не свойственна. При растворении в воде К. подвергаются гидролизу, и вследствие этого растворы их обладают щелочной реакцией. Добавление к таким растворам более сильной к-ты, чем угольная, приводит к выделению углекислого газа и образованию соли этой к-ты. Это св-во К. используют при получении различных солей. К. синтезируют реакциями обмена, действием углекислого газа на водные или аммиачные растворы и суспензии солей или гидроокисей металлов. Часто К. получают разложением солей органических к-т. Бикарбонаты получают насыщением растворов или суспензий К. углекислым газом, а основные К. — как и собственно карбонаты, но не доводя реакцию до конца. Применение находят в основном карбонаты натрия, калия, магния и кальция. Осн. их потребителем является пром-сть строительных материалов (*цемент, стекло, керамические материалы*). Карбонаты кальция перерабатывают в известь, мн. его разновидности — мрамор, туфы и т. д. — используют как строительные материалы. Известняки применяют в металлургии как *флюсы*. К. используют в произ-ве *эмалей*, мыл, красителей, а некоторые из них — $Pb_3(OH)_2(CO_3)_2$, $NiCO_3$ — сами являются пигментами. Карбонаты и бикарбонаты натрия и аммония используют в пищевой пром-сти. Карбонаты кальцита и магнезия находят применение как *электроизоляционные материалы*, природные *монокристаллы* кальцита — в оптике. Карбонат и бикарбонат аммония — реагенты для осаждения нерастворимых гидроокисей и К. Расплавленные К. (чаще всего эвтектическая смесь 43,5 мол.% Li_2CO_3 , 31,5% Na_2CO_3 , 25% K_2CO_3 , $t_{пл}$ 397° С) перспективны для использования в качестве электролитов при электрохим. регенерации кислорода из углекислого газа, в высокотемпературных топливных элементах, могут применяться как поглотители дымовых газов и рабочие среды закалочных ванн.

Лит.: Киргинцев А. Н., Труш-

никова Л. Н., Лаврентьева В. Г. Растворимость неорганических веществ в воде. Справочник. Л., 1972; Некрасов Б. В. Основы общей химии, т. 1—2. М., 1973; Юсти Э., Винзель А. Топливные элементы. Пер. с нем. М., 1964; Рипан Р., Четяну И. Неорганическая химия, т. 1—2. Пер. с рум. М., 1971—72; Справочник по расплавленным солям, т. 1—2. Пер. с англ. Л., 1971—72; Реми Г. Курс неорганической химии, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1972—74.

С. А. Кириллов, В. Д. Присяжный

КАРБОРУНД [от лат. *carbō* — уголь и (*ко*)рун*d*], карбид кремния и SiC — соединения *кремния с углеродом*. К. — торговое название, предложенное в 1893, когда К. был синтезирован восстановлением смеси кремнезема SiO_2 и корунда Al_2O_3 углеродом в вольтовой дуге. Впервые К. получил (1824) швед. химик Й. Я. Берцелиус. К. — строго стехиометрическое соединение, отклонение от формульного состава не превышает $10^{-5}\%$. К. образует две полиморфные модификации: кубическую (β - SiC) со структурой типа *алмаза* ($a = 4,3596 \text{ \AA}$), в к-рой половина атомов углерода замещена атомами кремния, и гексагональную (α - SiC) со структурой слоистого типа. При t -ре выше 2000° С кубическая модификация монокристаллически переходит в гексагональную, для к-рой характерно проявление *политипизма*. Ячейка α - SiC имеет параметры: $a = b = 3,078 \text{ \AA}$ и $c = 2,518 \text{ \AA} \times n$, где n — число слоев в гексагональной ячейке политипа. Известно более 50 политипов с числом слоев от 2 до 500. Наиболее часто встречается шестислойный политип *6H*. Технический К. имеет вид мелкокристаллических сростков и друз, состоящих из кристаллов гексагональной пластинчатой формы площадью 0,2—1,0 $см^2$. Двойникование в пластинчатых кристаллах может осуществляться по линии срастания, параллельной ребру [110] гексагональной грани основания. К. в чистом виде — бесцветный кристалл с алмазным блеском, К. технический — зеленого или синего цвета. В природе К. встречается крайне редко. В минералогии естественный К. известен под названием *м у а с с а н и т а*. Кристаллы К. обнаружены в метеоритных кратерах, алмазных трубках, гранитоидах и вулканических брекчиях. К. отли-

чается высокой твердостью, теплопроводностью, огнеупорностью, специфическими электр. и полупроводниковыми св-вами (табл.), стоек к хим. воздействию (на него действует только смесь азотной и плавиковой к-т, а также фосфорная к-та при t -ре 230°C). В пром. масштабах К. производят восстановлением кремнезема углеродом в электр. печах сопротивления при t -ре $2200\text{--}2500^{\circ}\text{C}$. Крупные монокристаллы получают конденсацией паров К., синтезом из газообразных соединений, содержащих кремний и углерод, и кристаллизацией из металлических расплавов, растворяющих карборунд. Методами керамической технологии и порошковой металлургии из К. изготавливают разнообразные поликристаллические материалы. Известны пористые материалы, в к-рых зерна К. цементированы кремнеземистыми, глиноземистыми и нитридокремниевыми связками. Беспористые поликристаллические материалы на основе К. получают горячим прессованием или

реакционным спеканием. Эти материалы отличаются от пористых более высокими мех. св-вами, тепло- и электропроводностью, хим. стойкостью. На крупных пластинчатых монокристаллах К. с низкой концентрацией примесей и дефектов возможно создание p — n -переходов, что позволяет использовать их в полупроводниковой технике для изготовления транзисторов, стойких до t -ры $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$, и электролюминесцентных приборов (светодиодов). Нитевидные кристаллы К., отличающиеся высокими мех. св-вами, применяют для армирования металлических и полимерных композиционных материалов. Из пористых поликристаллических материалов на связках изготавливают абразивный инструмент, огнеупорные материалы, изделия электротехнического назначения (нелинейные резисторы, поджигатели ignитронов, запальные свечи, электр.

Свойства карборунда

Модификация	Молекулярная масса	ρ , г/см ³	Твердость		E , кгс/мм ²	n_0	n_e	Работа выхода электронов, эв	Диэлектрическая постоянная
			по Моосу	по Кну-пу					
Гексагональная	40,1	3,214	9,0—9,8	2130—2950	$(39\text{--}45) \times 10^3$	2,6467—2,6467	2,6889—2,6930	4,6	$10,2 \pm 0,02$
Кубическая	40,1	3,166	9,2—9,3	2610—3740	—	2,48	—	—	—

Модификация	Ширина запрещенной зоны, эв	Температура Дебая, Θ , К	Теплота образования $\Delta H_{\text{кр}}^{\text{кр}}$, ккал/моль	Энтальпия $S^{\text{кр}}$, ккал/моль $\times \text{град}$	C_p , ккал/моль $\times \text{град}$	λ , ккал/м. ч $\times \text{град}$	Температура диссоциации, $^{\circ}\text{C}$	$\alpha \cdot 10^{-6}$, град ⁻¹	Электропроводность, ом ⁻¹ \times см ⁻¹
Гексагональная	2,86—3,30	1200	12,3—18,0	3,95	0,165	40—400	2780	4,2—4,7 (т-ра 427°C)	—
Кубическая	2,2—2,6	1430	13,4—16,5	3,97	0,170	40—400	2830	3,8 (т-ра 200°C)	От $5 \cdot 10^2$ до $5 \cdot 10^{-13}$

Примечания: 1. Свойства приведены при комнатной температуре. 2. Изменение тепло- и электропроводности связано с наличием примесей в кристалле карборунда.

нагреватели). Беспористые материалы на основе К. применяют в качестве спец. огнеупоров, высокотемпературных нагревателей, электродов магнитогидродинамических генераторов, торцевых уплотнений, а также в хим. и целлюлозно-бумажной промышленности для изготовления изделий, подвергающихся интенсивному коррозионному и абразивному воздействию.

Лит.: Добролеж С. А. [и др.]. Карбид кремния. К., 1963; Кайнарский И. С., Дегтярева Э. В. Карборундовые огнеупоры. Х., 1963; Карбид кремния. К., 1966; Карбид кремния, свойства и области применения. К., 1975; Верма А., Кришна П. Полиморфизм и политипизм в кристаллах. Пер. с англ. М., 1969; Карбид кремния. Пер. с англ. М., 1972. Г. Г. Гнесин.

КАРБОРУНДОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, карбидокремниевые материалы на основе карборунда (карбида кремния). Произ-во К. м. началось в США в начале 20 в. Различают К. м. на кремнеземистой связке марок КК-1,2 и К. м. на алюмосиликатной связке марок КА-3 и КА-5 (табл. 1).

Кроме того, созданы материалы на нитридной и оксинитридной связках и материалы без связки — поликристаллические (или самосвязанные), рекристаллизованные (табл. 2), легковесные и пенолегковесные (табл. 3). К. м. отличаются высокой теплопроводностью, термостойкостью, относительно высокой электропроводностью, стойкостью к коррозионному воздействию кислых шлаков, абразивной стойкостью и жаростойкостью. Наиболее жаростойки — поликристаллические и рекристаллизованные материалы, менее жаростойки — материалы на алюмосиликатной связке. К. м. на кремнеземистой связке содержат не менее 83% SiC, не более 1,2% Al_2O_3 . Их кажущаяся плотность и плотность материалов с добавкой глины составляют соответственно 2,5—2,65 и 2,3—2,65 г/см³, коэфф. теплопроводности 6,3—8,5 и 9—17 ккал/м·ч·град, коэфф. термического расширения (4—5) 10⁶ и (3,7—4,5) 10⁶ град⁻¹. К. м. на кремнеземистой связке изготавливают полусухим или пластиче-

ским методом. Шихту для них готовят из зерен карборунда различной крупности: 50—60% крупных и средних фракций и 40—50% мелких (с размером зерна менее 0,025 мм), затем ее смешивают, формуют и обжигают в окислительной среде при т-ре 1350—1400° С. По пластическому методу в шихту вводят пластификатор (сульфитно-спиртовую барду). Во время обжига зерна карборунда окисляются с образованием кремнеземистой связки, к-рая скрепляет зерна и частично заполняет поры, что увеличивает плотность и прочность изделий, не претерпевающих усадки. К. м. на алюмосиликатной связке (карбофраксовые) марок КА-3 и КА-5 содержат соответственно не менее 82 и 74% SiC, не более 3 и 5% Al_2O_3 . Для получения материалов на алюмосиликатной связке, в качестве к-рой используют гл. обр. огнеупорную глину, готовят шихту, состоящую из зерен карборунда различных фракций: 40—60% крупной (с размерами зерна 0,9—0,7 мм), 10—30% средней (с размерами зерна 0,3—0,2 мм), 30—50% мелкой (с размерами зерна меньше 0,063 мм) и связки (3—20%). Смесь прессуют или трамбуют, а заготовки обжигают при т-ре 1350—1425° С. К. м. на нитридной и оксинитридной связках содержат 70—80% SiC. Связкой служат соответственно нитрид и оксинитрид кремния. Такие материалы обладают повышенной жаростойкостью и прочностью при знакопеременных нагрузках. Для их получения готовят шихту, состоящую из зерен

Таблица 1. Свойства карборундовых материалов на кремнеземистой и алюмосиликатной связках

Марка материала	Кажущаяся пористость, %, не более	Обж., кгс/см ² , не менее	Т-ра начала деформации под нагрузкой, °С, не менее	Коэффициент газопроницаемости, мл/м, не более
КК-1,2	24	400	1700	0,25
КА-3	22	400	1500	—
КА-5	25	400	1500	—

карборунда (30% крупной фракции, размер зерна 0,7—0,9 мм, 40% мелкой фракции, размер зерна менее 0,06 мм) и элементарного кремния (30%, размер зерна менее 0,06 мм). Спрессованные заготовки обжигают в среде азота, не содержащей заметных следов кислорода, при т-ре 1300—1350° С. В процессе обжига образуется нитрид кремния Si_3N_4 , к-рый связывает зерна карборунда, увеличивая прочность изделий. Если заготовки обжигать в среде технического азота, содержащей кислород, то наряду с нитридом образуется значительное количество оксинитрида кремния Si_2ON_2 . Для образования оксинитридной связки используют также углеродистые засыпки, содержащие кокс или его смесь с кварцевым песком. Связка образуется вследствие взаимодействия кремния с азотом и окисью углерода. Такое реакционное спекание смеси карборунда с кремнием приводит к значительному уплотнению изделий без заметного изменения объема. Поликристаллические К. м. состоят преим. из карборунда. Плотность их достигает 95% от теоретической. Они отличаются высокой *кис-*

лотостойкостью, достаточной *щелочестойкостью*, высоким сопротивлением истиранию (см. *Истираемость*), хорошей термостойкостью, не смачиваются цветными металлами. Материалы такого типа получают гл. обр. формированием смеси зерен карборунда различных размеров с углеродом (в виде, напр., коллоидного *графита*), к-рую подвергают реакционному спеканию в парах кремния при т-ре выше 1800° С. В процессе спекания углерод взаимодействует с кремнием, образуя карборунд, связывающий исходные зерна карборунда в плотную массу. Поликристаллические К. м. получают также горячим прессованием в графитовых пресс-формах при высокой т-ре и давлении около 1000 кгс/см². При добавлении в шихту аморфного бора (7%) давление снижается до 100 кгс/см². Ре кристаллизова н н ы е (рефраксовые) К. м. (с непосредственной связью между зернами карборунда) получают обжигом зерен черного или зеленого карборунда (50% крупной фракции, 10% сред-

Таблица 2. Свойства карборундовых материалов на нитридной и оксинитридной связках, поликристаллических и рекристаллизованных

Материал	Какаяющаяся плотность, г/см ³	Какаяющаяся пористость, %	$\sigma_{\text{сж}}$, кгс/см ²	$\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹	λ , ккал/м · ч × град	Т-ра начала деформации под нагрузкой, °С	Коэффициент газопроницаемости, нДм
На нитридной связке	2,6—2,7	15—19	2000	3,5—4,0	8—14	1800	0,15—0,20
На оксинитридной связке	2,6—2,65	11—14	200	3,8—4,0	6—7	1800	0,01—0,05
Поликристаллические	3,05—3,1	0—1	10 000	4—6	50	1800	0,005
Рекристаллизованные	2,4—2,6	20—25	500—1200	—	—	1680	1,5—2,

Таблица 3. Свойства карборундовых легковесных материалов с выгорающими добавками и пенолегковесных

Материал	Какаяющаяся плотность, г/см ³	Какаяющаяся пористость, %	$\sigma_{\text{сж}}$, кгс/см ²	$\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹	λ , ккал/м × ч · град	Т-ра начала размягчения, °С
Легковесный с выгорающими добавками	1,16—1,43	58—43	16—42	6	0,8—1,4	1620—1640
Пенолегковесный	0,25—0,53	90—80	6—52	5,2	0,8—1,5	—

ней и 40% мелкой фракции) в электр. печах с графитовыми нагревателями, обычно в восстановительной среде при t -ре до 2200°C . Пластичность и связность массы обеспечиваются добавлением декстрина или сульфитно-спиртовой барды ($\sim 1\%$ на сухую массу). Рекристаллизация материалов сопровождается увеличением прочности, плотность же не увеличивается, пористость остается достаточно высокой. Легковесные и пенолегковесные К. м. содержат 83—98% SiC. Они характеризуются высокой термостойкостью, огнеупорностью, малым коэфф. термического расширения, но недостаточной стойкостью в окислительных средах вследствие повышенной пористости и газопроницаемости. Для их получения в шихту вводят выгорающие добавки (легковесные материалы) или вспенивают ее (пенолегковесные материалы). К. м. используют в черной металлургии — для изготовления устройств высокотемпературных рекуператоров, пробок для устройств непрерывной разливки стали, штампов и матриц для порошковой техники, в дветной металлургии — при произ-ве динка пирометаллургическим способом (в аппаратах для восстановления, дистилляции и рафинирования), для изготовления электролизерных блоков, используемых в произ-ве алюминия, труб и деталей насосов, перемещающих расплавы, для патрубков и стопоров при литье меди, для туннельных печей обжига, капсулей, муфельей, в качестве чехлов для термопар, в хим. промышленности (сливные блоки трайльных ванн, сопла для распыления и детали насосов для перемещения агрессивных кислых сред и др.), для футеровки котлов с жидким шлакоудалением и газопроводов, несущих абразивную смесь, для изготовления дисков циклонных аппаратов, используемых при обогащении руд, и др. См. также *Огнеупорные материалы*.

Лит.: Кайнарский И. С., Дегтярева Э. В. Карборундовые огнеупоры. Х., 1963; Огнеупорное производство. Справочник, т. 1—2. М., 1965; Мамыкин П. С., Стрелов К. К. Технология огнеупоров. М., 1970; Химическая технология керамики и огнеупоров. М., 1972.

О. Н. Попов.

КАРНАЛЛИТ [по имени нем. геолога Р. Карналля (R. von Carnall)], $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — минерал класса *хлоридов*. Хим. состав (%): К — 14,07; Mg — 8,75; Cl — 38,28; H_2O — 38,90. Хлор изоморфно может замещаться бромом; рубидий, цезий, таллий и аммоний замещают калий, а двухвалентное железо — магний. К. содержит также примеси никеля, меди, свинца, радия и тория. Структура координационная, сингония ромбическая, вид симметрии ромбодипирамидальный. Встречается в виде зернистых и массивных агрегатов, образует также прожилки шестоватого или волокнистого строения. Кристаллы дипирамидального, толстотаблитчатого по (0001) и псевдогексагонального габитуса, иногда вытянуты вдоль оси a . В природе кристаллы встречаются очень редко. Типичны полисинтетические двойники по (110) и (110). Спайности (см. *Спайность минералов*) нет. Плотность 1,602 г/см³. Твердость 2,5. Хрупкий. Бесцветный. Из-за примесей окислов железа окрашивается в бурый, красный, желтый и розовый цвет; встречается черный, белый и бледно-зеленый (см. *Цвет минералов*). Блеск (см. *Блеск минералов*) в изломе жирный. Гигроскопичен, растворяется в спирте, вкус горький. Двухосный, положительный; $2V = 70^{\circ}$, не плеохроит. Показатели преломления: $n_g = 1,4937$; $n_m = 1,4753$; $n_p = 1,4665$; $n_g - n_p = 0,0272$. Образуется на последних стадиях испарения рапы соляных озер, обогащенной хлоридами магния и калия. Возникает также в результате вторичных изменений калийных пород. Встречается совместно с *галитом*, *сильвинитом*, *карнитом*. К. получают из водных высококонцентрированных растворов хлоридов натрия, магния и калия при t -ре от 0 до 167°C . К. используют для получения *магния*, *калия*, *брома*; возможно попутное извлечение рубидия и цезия.

Лит.: Минералы. Справочник, т. 2, в. 1. М., 1963; *Поваренных А. С.* Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Иванов А. А., Воронова М. Л. Галогенные формации. М., 1972; Винчелл А. И., Винчелл Г. Оптические свойства искусственных минералов. Пер. с англ. М., 1967.

О. И. Петриченко.

КАТАЛИЗАТОРЫ — катализаторы — катализически инертные или малоактивные материалы, на к-рые наносят катализаторы. В качестве К. н. применяют окись алюминия, силикагель и др. (табл.).

Катализаторы на носителях обладают, как правило, большей удельной поверхностью, мех. прочностью и термостойкостью. Кроме того, экономится значительное к-во дорогостоящих катализаторов, напр. платины, палладия и серебра. В зависимости от условий проведения процесса используют носители разной пористости. Так, в реакции окисления пропилена в акролеин на закисы меди применяют непористый носитель (карбид кремния) с высокой мех. прочностью и термостойкостью, поскольку использование высокопористого носителя способствует нежелательной реакции: дожиганию акролеина до CO_2 и H_2O . Иногда К. н. не инертны по отношению к катализатору и реагирующим веществам и могут существенно влиять на протекание каталитических реакций. Хим. природа К. н. влияет на энергию связи и плотность адсорбируемых атомов, на активность катализатора и механизм реакции. Подбором К. н.

Характеристики структуры катализаторов носителей

Катализаторов носитель	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Удельный объем пор, $\text{см}^3/\text{г}$
Окись алюминия		
тонкопористая	300	0,4—0,6
крупнопористая	250—350	1—1,5
Силикагель		
тонкопористый	500—600	0,5
крупнопористый	200—250	1,5
Активированный уголь	90—1100	0,3—0,2
Алюмосиликат (для крекинга нефти)	400—600	0,6—0,8
Боксит	150	0,25
Глина бентонитовая	150—280	0,3—0,5
Окись магния	30—140	0,3
Асбест	1—16	—
Корунд пористый	1	0,3
Карборунд	1	0,4
Пемза	0,04—10	—
Диатомит (кизельгур, инфузорная земля)	10—50	—

можно изменить направление каталитической реакции: напр., над медью этиловый спирт дегидрируется в уксусный альдегид, однако медь на угле приводит к разложению спирта на воду и этилен. К. н. часто способствует более избирательному (селективному) протеканию процесса. Так, с помощью никелевого катализатора на носителях удается значительно повысить селективность при гидрировании ацетиленовых соединений и их смесей. Иногда носитель, напр. кизельгур в синтезе Фишера — Тропша (получение смеси насыщенных углеводородов из окиси углерода и водорода), адсорбирует побочные продукты (высокомолекулярные парафины) и уменьшает отравляемость катализаторов. Произ-во К. н. состоит в получении исходных веществ, формовании их в виде таблеток или колец Рашига диаметром и высотой 9—18 мм, а также в виде сферических гранул, в последующем прокаливании и частичном спекании. Чтобы создать пористую структуру, в качестве наполнителей иногда используют древесные опилки, нефтяной кокс и др. Для нанесения катализатора носитель обычно пропитывают раствором соли катализатора с последующим ее разложением, применяя однократную или многократную пропитку солями активного компонента. К. н. широко используют в промышленности, напр. окись алюминия применяют для получения никелевого катализатора конверсии углеводородных газов. См. также Цео-литы.

Лит.: Боресков Г. К., Чесалова В. С. Производство промышленных катализаторов. «Химическая промышленность», 1960, № 6; Научные основы подбора и производства катализаторов. Новосибирск, 1964; Катализаторы на носителях. Алма-Ата, 1965; Технология катализаторов. Л., 1974.

Т. Г. Жидкова.

КАТАЛИЗАТОРЫ (от греч. *κατάλυσις* — распадение) — вещества, изменяющие скорость химической реакции и остающиеся в конце ее химически и количественно неизменными. Практически применяют вещества, ускоряющие хим. реакцию. К. не смещают термодинамического равнове-

веса, а лишь ускоряют его достижение вследствие многократного взаимодействия с компонентами реакции, при котором образуются промежуточные комплексы с более высокой реакционной способностью превращения в продукт, чем у исходных реагирующих веществ. Для создания промышленных К. применяют металлы, окислы, кислоты и соли. Из металлов широко используют платину — первый широко применяемый с 19 в. в качестве К. в промышленности различных стран металл (иногда др. платиновые металлы или их сплавы с платиной) — в виде металлической сетки или в высокодисперсном виде на носителях (см. *Катализаторы носители*) от долей до 1—2% Pt или Pd к массе носителя. Носителями служат окислы алюминия с добавками или без добавок хлора, фтора либо редких металлов, а также *цеолиты*. Из др. металлов в качестве К. используют никель, железо и серебро. Никель применяют в виде высокодисперсного порошка (черни), в переплавленном или спеченном виде, а также на носителях (5—50% от массы носителя), гл. обр. на окиси алюминия и цеолите. Железо чаще всего используют с активаторами — окислами калия, алюминия и кальция и *двуокисью кремния*. Серебро применяют в виде пористого металла или на инертных носителях. Из окисных К. нашли применение аморфные и кристаллические алюмосиликаты, в т. ч. с добавками окислов *редкоземельных элементов*; пятиокись ванадия, плавная или на носителях, гл. обр. активированная *сульфатами* щелочных металлов; различные сложные окисные системы: окись железа — окись хрома, окись никеля — окись алюминия, окись хрома — окись алюминия, окись хрома — окись цинка, окись цинка — окись хрома — окись меди, окись цинка — окись магния — окись алюминия и др. Из минеральных кислот распространены К. являются фосфорная и серная кислоты на носителях; из солей — *фосфаты* (кадмия и кальция), *хлориды* (алюминия, бора, ртути, хрома и меди) и *сульфиды* (никеля, кобальта, молибдена и

вольфрама). Осн. характеристики К. — каталитическая активность и избирательность (селективность). Каталитическая активность характеризуется скоростью реакции, отнесенной к единице массы, к концентрации или к единице поверхности К. В промышленности К. характеризуют производительностью, т. е. количеством целевого продукта, полученного за единицу времени на единицу объема К. в оптимальных условиях. Избирательность характеризует специфичность К., т. е. их способность проводить одну из реакций, термодинамически возможных в исходной системе, и определяется отношением скорости целевой реакции к общей скорости превращения исходных веществ. В промышленности избирательность характеризуют выходом целевого продукта в процентах к теоретическому. Каталитическая активность и избирательность связаны с химической природой каталитических активных веществ. Электронная структура и определяемые ею физико-химические свойства обуславливают специфическую способность такого вещества катализировать различные типы реакций. По типу катализируемых реакций различают К. окислительно-восстановительные (или электронные) и кислотно-основные (или ионные). Окислительно-восстановительные К. катализируют процессы, идущие по гомолитической схеме (с разделением электронов в электронных парах реагирующих молекул), напр. *окисление*, восстановление, гидрирование и дегидрирование. К таким К. относятся вещества с ярко выраженными электронодонорными или акцепторными свойствами — переходные металлы с незаполненными *d*-оболочками, их окислы и сульфиды, окислы редкоземельных элементов с незаполненными *f*-оболочками, непереходные металлы (серебро, медь) и их окислы, а также окислы и сульфиды др. переходных металлов (цинка, кадмия и др.). Кислотно-основные К. катализируют процессы, идущие по гетеролитической схеме (без разделения электронов пар), напр. гидролиз, *гидратацию*, дегидратацию и галогенирование. К таким К. относятся минеральные кислоты на пористых носителях, твердые неорганические

кислоты — алюмосиликаты и др., ге-терополикислоты, окислы алюминия, кремния, титана и вольфрама, соли кислородсодержащих кислот, гл. обр. тяжелых металлов, и твердые основания (гидроксид, окиси, амиды щелочных и щелочноземельных металлов и соли слабых кислот — карбонаты, карбиды, силициды, нитриды и сульфиды). Кроме хим. состава, каталитическая активность вещества, производительность и избирательность существенно зависят от величины удельной поверхности и характера пористости активной массы, которые являются важными промышленными характеристиками К. Таковыми же являются термическая стойкость, особенно для К. с регенерацией, и механическая прочность на истирание, прочность в статических (раздавливании) и динамических (сопротивление удару, дроблению) условиях. Способность сохранять во время реакции каталитическую активность и избирательность определяет стабильность К. (устойчивость к отравлению примесями, содержащимися в реакционной смеси, к отложению смолистых веществ, к спеканию, перекристаллизации, образованию новых хим. и физ. фаз при высоких температурах и к механическому разрушению). От стабильности зависят форма использования К. (подвижный или неподвижный слой его, флюид) и характер процесса (непрерывный или циклический с регенерацией каталитически активного вещества). Регенерируют К., в зависимости от их природы и вида отравления, выжиганием смолистых веществ, обработкой водяным паром, различными растворителями, кислотами и щелочами, восстановлением, осернением и др. Оптимальные значения промышленно важных характеристик зависят от условий использования К. и в значительной степени могут регулироваться в процессе приготовления. Промышленные К. подразделяют на осажденные, нанесенные, плавленные (в т. ч. скелетные) и природные. В качестве осажденных К. — простых, смешанных или с различными добавками — используют окисные, солевые и кислотные системы (напр., К. железо-хромокислый, трикальций-фосфатный и алюмосиликатный). Ус-

ловия осаждения и термической обработки обеспечивают развитую поверхность и неоднородно-пористую структуру, а также равномерность хим. состава К. В качестве нанесенных К. применяют металлы и окислы. Эти К. получают пропитыванием носителей солями активных катионов с последующим термическим разложением до окислов или металлов (напр., К. кобальт-молибденокисный на гамма-окиси алюминия, серебро на пемзе, платина или палладий на окиси алюминия). Использование термостойких носителей с развитой пористой поверхностью позволяет увеличить поверхность активной массы, создать оптимальную структуру, предохраняющую активную массу от спекания и отравления, а также уменьшить износ. Реже применяют плавленные К. — металлические (напр., никель-стружку, сплав платины, палладия и родия — в виде сетки) или окисные (напр., плавленную пентокиси ванадия). Высокоактивные, механически прочные металлические К., гл. обр. никелевые, используют в виде скелетных, получаемых из сплавов никель — алюминий полным (никель Ренея — в виде высокодисперсного порошка) или частичным (никель Бага — кусочки сплава) выщелачиванием алюминия. Природные К. (боксит, кизельгур, железная руда, глина) дешевы и не требуют сложной технологической обработки. Особым видом К. являются синтетические кристаллические алюмосиликаты в виде цеолитов. Они термически стабильны, устойчивы к ядам и высокоизбирательны. Основной путь повышения эффективности К. — подбор более активной и избирательной контактной массы. С этой целью усложняют их хим. состав, что изменяет характер и скорость первичных хим. актов контактных процессов вследствие регулирования окислительно-восстановительных и кислотно-основных свойств, изменения геометрии активной поверхности и появления новых активных форм или фаз. Усложнение хим. состава введением различных добавок улучшает и др. характеристики К. Так, структурирующие добавки регулируют

скорость макроскопических этапов контактного процесса (диффузии, теплообмена), изменяя вторичную структуру и удельную поверхность; упрочняющие (стабилизирующие) добавки повышают сопротивление механическому и хим. разрушению. Из нескольких тысяч каталитически активных веществ в качестве К. в промышленности применяют около 250, обладающих удовлетворительными технологическими свойствами. Годовой объем мирового производства К. — $500 \div 800$ тыс. т.

Лит.: Научные основы подбора и производства катализаторов. Новосибирск, 1964; Проблемы кинетики и катализа, т. 11. Научные основы подбора катализаторов гетерогенных каталитических реакций. М., 1966; Крылов О. В. Катализ неметаллами. Л., 1967; Каталитические свойства веществ. Справочник. К., 1968; Иoffee И. И., Писмен Л. М. Инженерная химия гетерогенного катализа. Л., 1972; Технология катализаторов. Л., 1974; Макстед Э. Б. Катализ и его промышленное применение. Пер. с англ. М., 1936; Катализ. Полифункциональные катализаторы и сложные реакции. Пер. с англ. М., 1965; Ашмор П. Катализ и ингибирование химических реакций. Пер. с англ. М., 1966; Томас Ч. Промышленные каталитические процессы и эффективные катализаторы. Пер. с англ. М., 1973. Т. Т. Бакуменко.

КАЧЕСТВЕННАЯ СТАЛЬ — сталь повышенной чистоты, содержащая небольшое количество примесей серы и фосфора. К К. с. относятся все легированные стали и некоторые углеродистые. Углеродистую К. с. подразделяют на собственно качественную (сера и фосфора не более 0,035% каждого) и сталь высококачественную, к-рая отличается от качественной меньшим содержанием серы и фосфора (не более 0,025% каждого), а также кислорода, азота, водорода и др. элементов. К. с. выплавляют в мартеновских печах или конверторах с использованием кислородного дутья. Низкоуглеродистая нелегированная К. с. марок Ст.08, Ст.15, Ст.20 и Ст.25 характеризуется высокой пластичностью, хорошей свариваемостью. Ее применяют для изготовления изделий, подвергаемых сварке или глубокому штампованию, а также цементации. Среднеуглеродистая К. с. марок Ст.25, Ст.30, Ст.40, Ст.45 и Ст.50 отличается более высокой проч-

ностью, но хуже сваривается, чем низкоуглеродистая сталь, подвергается нормализации или закалке с высокотемпературным отпуском. Из этой стали изготавливают оси, валы и соединительные муфты, не испытывающие больших напряжений, цилиндры прессов, штоки, болты и др. изделия. Высокоуглеродистая К. с. марок Ст.60, Ст.65, Ст.70, Ст.75, Ст.80 и Ст.85 обладает значительной прочностью, износостойкостью и высокими упругими св-вами. Ее применяют после закалки и отпуска или поверхностной закалки для изготовления пружин, рессор, шпинделей, бандажей трамвайных вагонов, экслюатируемых в условиях трения при высоких статических и вибрационных нагрузках. К. с. с повышенным содержанием марганца (0,7—1,0%) отличается большей прокаливаемостью. Меньшее содержание в высококачественной стали кислорода, азота и водорода улучшает мех. св-ва, напр. повышает сопротивление разрушению. Высококачественные стали выплавляют в электр. печах, используя для изготовления изделий спец. назначения. Марки и хим. состав качественных и высококачественных сталей приведены в ГОСТах 1050—60, 1435—54.

Лит.: Гуляев А. П. Металловедение. М., 1966. А. П. Гуляев.

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ — обнаружение и идентификация хим. элементов, ионов, радикалов и соединений, входящих в состав исследуемого вещества или смеси веществ, с помощью хим., физико-хим. и физ. методов. Химические методы К. а. основаны на хим. реакциях определяемого вещества (ионов), сопровождающихся внешними эффектами, непосредственно воспринимаемыми экспериментатором: образованием осадка со специфическими св-вами или растворимого окрашенного соединения, выделением газа с характерным запахом и т. п. В зависимости от количества взятого для исследования вещества химический анализ осуществляют макрометодами (более 100 мг вещества или 5 мл раствора), полумикро- (10—100 мг вещества или 1—5 мл раствора), микро- (0,1—10 мг вещества или 0,05—0,5 мл раствора) и ультрамикромет-

доли (менее 0,1 мг вещества или 0,05 мл раствора). Для исследования используют пробирки (пробирочный анализ), часовые стекла или фильтровальную бумагу (*капельный анализ*), предметные стекла с последующим изучением кристаллов под микроскопом (микрокристаллоскопия) и др. Химический К. а. проводят «сухим» или «мокрым» способом. По «сухому» способу, применяемому гл. обр. для предварительных исследований и для анализа минералов, анализируемое вещество в раствор не переводят. К таким способам анализа относятся: метод растирания порошков, по которому порошкообразное анализируемое вещество с твердым реагентом растирают в ступке или на фарфоровой пластинке, обнаруживая тот или иной хим. элемент по образованию характерных хим. соединений, отличающихся цветом или запахом; *пирогимический анализ*, основанный на нагревании исследуемого твердого вещества с соответствующими реагентами и наблюдения за плавлением веществ, образующихся при определенной т-ре, за возгонкой (*сублимацией*) характерных осадков, за образованием газообразных веществ, металлов и т. д.; метод образования окрашенных перлов при сплавлении солей или окислов некоторых металлов в петле из платиновой проволоки с тетраборатом натрия или фосфатами. По «мокрому» способу анализируемое вещество переводят в раствор, к-рый затем анализируют. Для обнаружения того или иного иона применяют специфические реакции, дающие при определенных условиях положительный результат лишь с одним веществом (ионами только одного хим. элемента). Таких реакций немного (напр., реакция обнаружения ионов аммония действием щелочи — по образованию аммиака; реакция на свободный йод с крахмалом; реакция на ионы Fe^{3+} с ферроцианидами в кислой среде, на ионы Ni^{2+} с диметилглиоксимом в отсутствие Pd^{2+} и Fe^{2+}), поэтому посторонние вещества, препятствующие обнаружению иона, обычно связывают в прочные комплексы, либо разрушают, либо отделяют, используя дистилляцию, осаждение, хроматографию (см. *Хроматографический анализ*), экстрак-

цию или др. методы. Классический хим. К. а. предусматривает разделение катионов на группы с последующим анализом каждой из них. Классификация катионов основана на св-вах их *хлоридов, сульфидов, гидроксидов и карбонатов*. Чаще всего по этим свойствам катионы подразделяют на пять групп. Используют также разные варианты менее универсального бессероводородного метода анализа, основанного на св-вах гидрооксидов, карбонатов, хлоридов и *фосфатов*. Систематический ход анализа, предусматривающий определенную последовательность обнаружения ионов, применяют только в сложных случаях, обычно же используют *дробный анализ*, в процессе к-рого ионы обнаруживают без предварительного разделения на группы. Разделение на группы анионов основано на их отношении к ионам бария и серебра, а также к дифениламину. К первой группе относятся анионы, бариевые соли к-рых нерастворимы в воде; ко второй группе — анионы, серебряные соли к-рых нерастворимы в азотной к-те; к третьей группе — анионы-окислители (проба с дефиниламином) и ацетат-ионы. При обнаружении анионов к систематическому ходу анализа не прибегают, а пробу на отдельные группы анионов делают лишь для сокращения времени анализа, к-рый проводят с помощью отдельных реакций, осуществляя, если нужно, предварительное разделение. Чувствительность реакций в химическом К. а. определяется открываемым минимумом — наименьшим количеством вещества, к-рое может быть обнаружено в процессе качественного анализа данным реактивом. Наименьшая концентрация иона в небольшой порции анализируемого раствора, при к-рой реакция еще дает возможность обнаружить этот ион, наз. минимальной (предельной). Величина, обратная предельной концентрации и характеризующая наибольший объем раствора (в мл), содержащего 1 г вещества, т. е. раствор, в к-ром это вещество может быть обнаружено с помощью данной реакции, наз. предельным разбавлением. Открываемый минимум и предельное разбавление

вычисляют по формулам

$$V_{\text{мин}} = mW_{\text{пред}} 10^{-6} \text{ и } W_{\text{пред}} = \\ = C_{\text{мин}}^{-1} \cdot V_{\text{мин}} m^{-1} 10^6,$$

где $V_{\text{мин}}$ — минимальный объем раствора, необходимый для обнаружения иона, мл; m — открываемый минимум, мкг; $W_{\text{пред}}$ — предельное разбавление, мл/г; $C_{\text{мин}}$ — предельная концентрация, г/мл. В физических и химических методах К. а. используют хим. реакции, приводящие к изменению контролируемых физ. свойств изучаемого вещества. Эти методы, отличаясь высокой чувствительностью, дают иногда возможность проводить анализ сложных смесей. К ним относятся методы хроматографического анализа, фотометрического анализа, спектрофотометрического анализа, электрохимические методы анализа, кинетические методы анализа и др. Физические методы К. а. основаны на исследовании зависимости физ. свойств вещества от различных физ. факторов (действия света, т-ры и пр.). Из физ. методов применяют гл. обр. спектральный анализ. Большое значение приобрели также активационный анализ, рентгеновский анализ, масс-спектральный анализ, люминесцентный анализ и др. физ. методы анализа.

Лит.: Тананаев Н. А. [и др.]. Качественный химический дробный анализ, ч. 1—2. Свердловск, 1962—63; Жаровский Ф. Г., Пилипенко А. Т., Пятницкий И. В. Аналитична химия. К., 1969; Крешков А. П. Основы аналитической химии, кн. 1. М., 1970.

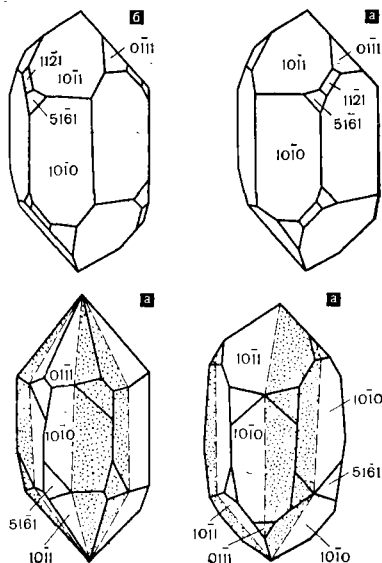
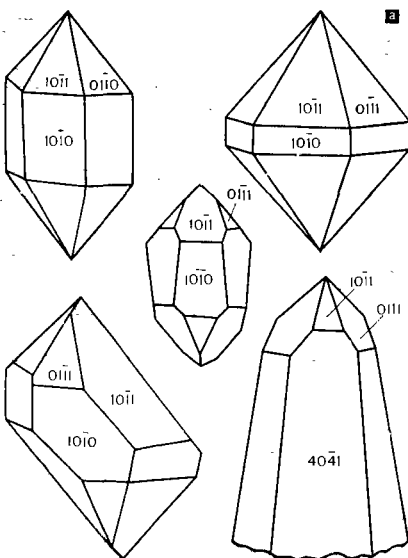
КВАРЦ, SiO_2 — минерал класса окислов; одна из полиморфных модификаций (см. *Полиморфизм*) двуокиси кремния. Из семи таких модификаций четыре основные при норм. давлениях имеют след. температурные интервалы стойкости: 0—573° С (кварц), 573—870° С (высокотемпературный кварц), 870—1470° С (высокотемпературный тридимит), 1470—1710° С (высокотемпературный кристобалит). Выше т-ры 1710° С образуется стекло. Три модификации получены экспериментальным путем при высоком давлении: коусит (моноклинной син-

гонии), стишовит и китит (тетрагональной сингонии). Коусит и стишовит встречаются в природных образованиях. Осн. полиморфные модификации двуокиси кремния энантиотропны, т. е. каждая из них имеет еще низко- и высокотемпературные модификации. К таким модификациям относятся: низкотемпературный К. (тригональной сингонии, обозначается еще альфа- и бета-кварц), высокотемпературный К. (гексагональной сингонии), низкотемпературный тридимит (ромбической сингонии), высокотемпературный тридимит (гексагональной сингонии), низкотемпературный кристобалит (тетрагональной сингонии), высокотемпературный кристобалит (кубической сингонии). Низкотемпературная модификация известна просто под назв. «кварц». Различают К. прозрачные, мало- и непрозрачные. К прозрачным относятся горный хрусталь, аметист (фиолетовый К.), раухтопаз (дымчатый К.) и цитрин (желтый К.). Мало- и непрозрачными К. являются морион (черный), а также розовый, молочный и обыкновенный. Среди К. с включениями др. минералов наиболее распространены: празем — зеленый К., окраска к-рого обусловлена включениями хлорита или актинолита; авантюрин — буро-красный К. с мерцающим золотистым отливом от включений слюды, гетита и гематита; кошачий глаз — зеленоватый К. с шелковистым отливом от включений асбеста; тигровый глаз — бурый К. с золотистым отливом; соколиный глаз — синеватый К. с включениями крокидолита. Волокнистая скрытокристаллическая разность К. — халцедон. Окрашенные халцедоны: сапфирин (синеватый), карнеол, или сердолик (бледно-розовый до красного), плазма (зеленый), хризопраз (ярко-зеленый). К. содержит немного (менее 1%) алюминия, лития, бора, железа, титана, магния, меди, кальция, калия, натрия, цезия, хрома, рубидия, серебра, циркония и бромидов. Эти элементы находятся в небольших по размерам включениях др. минералов, в составе жидкой фазы включений и в виде изоморфной

(см. *Изоморфизм*) примеси. Из изоморфных замещений в природном К. наиболее распространено замещение кремния алюминием, сопровождающееся внедрением в междоузлия структуры одновалентных катионов. Инфракрасной спектроскопией в К., особенно из низкотемпературных образований, установлены гидроксильные группы и молекулы воды. Структура каркасная, сингония тригональная, вид симметрии тригонально-трапецедрический. Основу структуры К. составляют кремнекислородные тетраэдры, в к-рых вокруг каждого атома кремния на приблизительно одинаковом расстоянии находятся четыре атома кислорода, а каждый атом кислорода соединяет два тетраэдра. Тетраэдры соединены между собой вершинами, образуя общий каркасный мотив структуры. В природе К. встречается в виде зерен, зернистых агрегатов, кристаллов и друз различной формы и размеров. Облик кристаллов — удлинённый, изометрический, реже — пластинчатый; габитус — призматический, призматически-ромбоэдрический и ромбоэдрический. Главные кристаллографические формы: гексагональ-

ная призма $\{10\bar{1}0\}$, ромбоэдри $\{10\bar{1}1\}$, $\{01\bar{1}1\}$, тригональная пирамида $\{11\bar{2}1\}$ и тригональный трапецедр $\{51\bar{6}1\}$. Из этих форм универсальными, определяющими габитус индивидов, являются гексагональная призма и ромбоэдри. Грани кристаллов К. нередко покрыты штриховкой (призма), трех- и четырехгранными пирамидками (соответственно ромбоэдри и призма), холмиками роста, бороздками и др. видяльными образованиями, возникшими в процессе роста и растворения минерала. Большинство природных кристаллов К. имеют только одну головку, другим концом они прикрепляются к стенке пустоты. Отсутствие у К. центра симметрии обуславливает энантиоморфизм форм его кристаллов. В зависимости от положения граней трапецедр морфологически различают К. правый и левый (рис.). Для К. характерны двойники. Двойникование является для него скорее правилом, чем исключением. Наиболее часто встречаются дофинейские и бразильские двойники, образующиеся по законам параллельных осей. Реже встречаются японские двойники (с наклонными осями) и двойники

Габитус кристаллов кварца: а — обычные кристаллы; б — левый кварц; в — правый кварц; г — дофинейский двойник; д — бразильский двойник.



по комбинированному закону. Спайность (см. *Спайность минералов*) проявляется по ромбоэдру (лучше по положительному, хуже по отрицательному) и призме. Плотность 2,6556 г/см³. Твердость 7. Наблюдается анизотропия твердости, выражающаяся рядом $\{10\bar{1}1\} > \{10\bar{1}0\} > \{0001\}$. К. без примесей и дефектов бесцветен. Природные К. часто окрашены. Природа окраски сложная и не во всех случаях достоверно установлена. Излом по неспайным направлениям раковистый (см. *Излом минералов*). К. одноосный, но иногда, вследствие испытанного давления, проявляет двухосность; 2V до 15°. Показатели преломления: $n_0 = 1,5442$; $n_e = 1,5533$. Вращает плоскость поляризации. У правого К. она повернута вправо, у левого — влево. При норм. т-ре и атм. давлении К. практически нерастворим в воде. Из к-т растворяется только в плавиковой. Растворимость в воде значительно повышается при увеличении т-ры и давления. Прочность на сжатие от 22 800 до 28 000, на разрыв — от 850 до 1210, на изгиб — от 920 до 1790 кгс/см². Изменение прочностных характеристик связано гл. обр. с измерениями их в различных кристаллографических направлениях. При значительном давлении (всестороннее сжатие до 50 000 ат, осевые нагрузки до 450 000 кгс/см²) К. разрушается. Диэлектрическая постоянная К. неодинакова (от 4,40 до 5,40) в различных частях кристалла. Удельное сопротивление при комнатной т-ре в направлении оси с меньше, чем в перпендикулярном направлении: соответственно $0,1 \cdot 10^{15}$ и $20 \cdot 10$ ом/см³. К. — пьезоэлектрик (см. *Пьезоэлектрические материалы*) и пьезоэлектрик (см. *Пьезоэлектрические материалы*). При изменении т-ры и сжатии на отрицательных ребрах зоны гексагональной призмы возникают отрицательные электрические заряды, на положительных ребрах — положительные. К. — широко распространенный минерал, образуется при разнообразных процессах и является главным минералом многих

изверженных, метаморфических и осадочных пород. Наиболее крупные выделения К. (кристаллы и зернистые агрегаты) находятся в гранитных пегматитах, кварц-полевошпатовых и кварцевых жилах. Известны кристаллы-гиганты массой от 10 до 70 т. Размер таких кристаллов вдоль главной оси достигает 7,5 м. Искусственный К. получают из водных растворов двуокиси кремния при повышенной т-ре и давлении, из безводных расплавов и из газовой фазы. Широко используется изотермический метод выращивания кристаллов при т-ре 380—410°С, а также метод температурного градиента, основанный на создании разности т-р в различных частях автоклава, что приводит к росту кристалла вследствие конвекционного движения раствора снизу вверх. Природные и искусственные кристаллы К. используют во многих оптических приборах (оптический кварц) и в радиотехнике (пьезокварц). Из-за постоянства параметров колебаний К. применяют в качестве стабилизатора частоты и фильтра колебаний высокой избирательности. Область применения кварцевых резонаторов распространяется на диапазон частот от 300 до 30 МГц. Горный хрусталь и окрашенные разности (аметист, цитрин, раухтопаз, морион) используют в ювелирном деле для изготовления украшений. Кроме того, К. применяют для получения кремния, карборунда, ферросилиция, фарфора, кварцевых ламп, при произ-ве стекла, хим. посуды и др.

Лит.: Минералы. Справочник, т. 2, в. 2. М., 1965; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Порообразующие минералы, т. 4. Пер. с англ. М., 1966; Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Фрондел К. Система минералогии, т. 3. Пер. с англ. М., 1966.

Е. К. Лазаренко, В. И. Павлишин.

КВАРЦЕВАЯ ТКАНЬ — ткань на основе волокон, полученных из расплавленного кварцевого стекла. Пром. произ-во и применение К. т. начались в 50-х гг. 20 в. К. т. (табл.) температуростойкий материал, в котором сочетаются ценные физико-хим. св-ва: большое электрическое сопротивление, высокая т-ра плавления, значительная термостойкость, малый коэфф. термического расширения и высокая хим. стойкость. Темпера-

уростойкости ткани обусловлена высокой т-рой плавления кварцевого стекла (1720—2200° С). Вязкость при этом сохраняется в пределах $10^{7,5}—10^8$ пз. В условиях длительной эксплуатации ткань стойка до т-ры 1200° С; спекание волокон и деформирование в твердой фазе без размягчения происходят при т-ре 1450° С. К. т. стойка к действию воды, пара высокого давления, различных к-т и др. хим. реагентов. Органические и минер. к-ты любых концентраций, за исключением плавиковой и фосфорной, почти не разрушают ее (фосфорная к-та разрушает ткань при т-ре выше 300° С). Для К. т. характерны также высокие мех. характеристики: предел прочности на растяжение кварцевого волокна более чем в 40 раз превышает предел прочности на растяжение кварцевого стекла. К. т. отличается хорошими диэлектрическими св-вами, низкой *электропроводностью* даже при высоких т-рах (ее поверхностная электропроводность при повышенной влажности не превышает 10^{-12} ом⁻¹) и малыми значениями *диэлектрических потерь* в широком диапазоне частот. Произ-во К. т. заключается в переплетении кварцевых нитей, которые вытягивают из расплавленного кварцевого стекла и склеивают между собой текстильным замасливателем. Комплексную нить подвергают размотке, кручению и трощению.

Характеристики кварцевых тканей

Марка ткани	Ширина, см	Толщина, мм	Масса 1 м ² , г, не более	Плотность (число нитей на 1 см)		Разрывная нагрузка, кгс, не менее			Содержание веществ, удаляемых при прока- ливании, %, не более
				Основа	Уток	Основа	Уток		
							по фону	по линии сгиба	
ТК-1 (220)	220±4	0,34±0,05	420	21±1	11±1	140	60	40	2,0
ТК-2 (220)	220±4	0,63±0,07	830	12±1	9±1	230	120	35	2,0
ТС-8/3-К	92±2	0,28±0,03	290±20	36±1	20±1	130	70	—	2,5
ТС-8/3-К-ТО	92±2	—	—	36±1	20±1	100	55	—	0,1—0,4
МКВТ-0,95	95±2	—	950±100	320±8	350±10	—	—	—	—

Примечание: Плотность кварцевой ткани марки МКВТ-0,95 дана в нитях на дециметр.

Получение основы (продольной нити), утка (поперечной нити) и ткани (переплетением основы и утка) осуществляют так же, как и в производстве *стеклянной ткани*. К. т. применяют при воздействиях высоких т-р, давлений и скоростей, в агрессивных средах, для фильтрации горячих кислых растворов и газов, для улавливания осадков и пламов. В сочетании с минер. связующими, кремнийорганическими, феноло-формальдегидными и эпоксидными смолами К. т. используют для создания радиопрозрачных, теплозащитных и конструкционных пластиков. На К. т. действуют ТУ 6—11—216—71; ТУ 6—11—15—496—74 и ТУ 6—11—15—454—74.

Лит.: Прянишников В. П. Кварцевое стекло. М., 1956; Вотчинкин О. К., Запорожский А. И. Кварцевое стекло. М., 1965; Асланова М. С., Хазанов В. Е. Влияние дефектов кварцевого стекла и поверхностных дефектов формирования кварцевого волокна на его прочность. «Стекло и керамика», 1967, № 1. М. С. Асланова, В. Е. Хазанов.

КВАРЦЕВОЕ СТЕКЛО — стекло, представляющее собой переохлажденный расплав природного или синтетического кремнезема. Впервые получено в 1830 во Франции. Вязкость расплава составляет $10^4 ÷ 10^{12}$ пуаз (в зависимости от т-ры), его *поверхностное натяжение* в интервале т-р 1850—2000° С равно 260—320 дин/см.

К. с. отличается значительной *огнеупорностью*, позволяющей длительно эксплуатировать его при т-ре до 1100°C и кратковременно при т-ре $1400\text{--}1500^{\circ}\text{C}$. Выше т-ры 1200°C К. с. кристаллизуется, превращаясь в альфа-кристобалит, к-рый при охлаждении ниже т-ры 230°C переходит в бета-форму, уменьшаясь в объеме. Коэфф. *термического расширения* К. с. небольшой (при т-ре 20°C равен $5 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$) и мало изменяется с повышением т-ры выше 100°C (рис. 1), вследствие чего стекло отличается высокой *термостойкостью*. К. с., как один из лучших диэлектриков, обладает малой *электропроводностью* даже при высоких т-рах, очень высокой пробивной напряженностью (порядка 40 кВ/мм при т-ре 20°C) и практически не имеет *диэлектрических потерь* в широком диапазоне частот. *Диэлектрическая проницаемость* его при низких частотах равна 3,8. Удельное *электрическое сопротивление* К. с. при т-ре 20°C равно $1,8 \cdot 10^{19} \text{ ом} \cdot \text{см}$, при т-ре 400°C оно составляет $1,3 \cdot 10^9$, при т-ре 800°C равно $1,6 \cdot 10^8$, при т-ре 1200°C составляет $5 \cdot 10^5 \div 3 \times 10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$. К. с. инертно к действию большинства хим. реагентов.

Стойко к к-там, даже при кипячении. Только плавиковая к-та разъедает его уже при т-ре 20°C , а фосфорная — выше т-ры 300°C . Слабее противостоит воздействию щелочей и основных солей. Расплавленные металлы — алюминий, серебро, медь — сильно разъедают стекло, многие же металлы не вступают в реакцию с ним. При т-ре выше 2000°C расплав К. с. весьма агрессивен к большинству *огнеупорных материалов*. К. с. отличается повышенной *газопроницаемостью*, особенно при повышенных т-рах, вследствие «рыхлости» структуры. *Диффузия* легких газов сквозь К. с. практически становится заметной уже при т-ре $600\text{--}700^{\circ}\text{C}$ (что учитывают при использовании его в вакуумной технике). Различают К. с. прозрачное (кварцевое оптическое стекло, кварцевое стекло особо чистое и кварцевое техническое стекло) — с весьма высокой *прозрачностью* в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях спектра, а также непрозрачное, содержащее большое количество рассеивающих свет мелких (диаметром $0,003 \div 0,3 \text{ мм}$) газовых пузырьков (табл. 1). Прозрачное К. с. изготовляют из чистейшего горного хрусталя, *кварца*, синтетической *диоксида кремния* или из летучих соединений кремния, перерабатываемых

Таблица 1. Свойства прозрачного и непрозрачного кварцевого стекла

Кварцевое стекло	$\rho, \text{г/см}^3$	$\Theta, \%$	$E, \text{кгс/мм}^2$	$\sigma, \text{кгс/см}^2$		
				на сжатие	на изгиб	на растяжение
Прозрачное оптическое и особо чистое	2,203—2,210	—	7450	6500	1100	600
Непрозрачное	2,020—2,080	5—7,5	4500	3100	450	230

Таблица 2. Содержание примесей в прозрачном кварцевом стекле

Кварцевое стекло	Примеси, % ($\times 10^4$)				
	Al	Fe	Na	OH	Cl
Оптическое I	50—180	0,7—5,0	4—7	2—4	—
Оптическое II	10—50	0,5—3,0	0,06—2,0	400	—
Особо чистое I	0,05	0,10	0,04	2—10	0—500
Особо чистое II	0,05	0,10	0,04	1200	0—50

в двуокись кремния высокотемпературным окислением. В стекле содержится незначительное количество примесей (табл. 2).

Т-ра спекания прозрачного стекла 1250°C , т-ра отжига $1080\text{--}1100^{\circ}\text{C}$, скорость кристаллизации макс. при т-ре $1600\text{--}1640^{\circ}\text{C}$. Теплоемкость прозрачного стекла при т-ре от 0 до 1600°C изменяется от 0,170 до 0,278 ккал/кг · град. Вследствие совместного переноса тепла излучением и кондукцией эффективный (или сум-

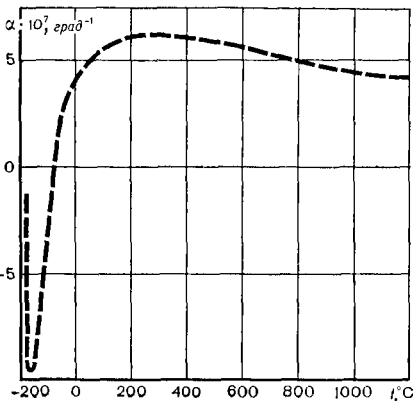
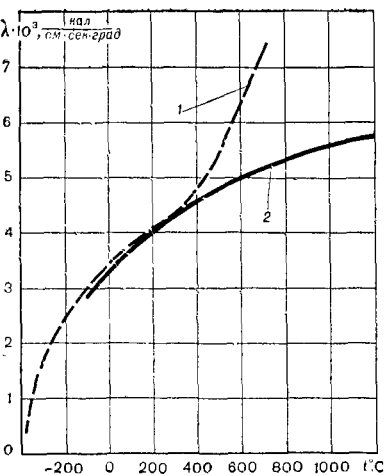


Рис. 1. Зависимость коэффициента термического расширения прозрачного кварцевого стекла от температуры.

Рис. 2. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности кварцевого стекла от температуры: 1 — прозрачное кварцевое стекло; 2 — непрозрачное кварцевое стекло.



марный) коэффициент лучисто-кондуктивной теплопроводности прозрачного стекла при т-ре выше 300°C повышается, все более нарастая (рис. 2). Такое стекло обладает миним. показателем преломления ($n_D = 1,458 \pm 1 \cdot 10^{-4}$), его средняя

дисперсия равна $0,00676 \pm 1 \cdot 10^{-5}$, коэфф. дисперсии равен 67,83, степень черноты при т-ре $20\text{--}500^{\circ}\text{C}$ составляет 0,93, коэфф. поглощения в видимой области спектра при толщине 1 см равен 0,1—0,2%. Полоса сильного поглощения с максимумом при 2,7 мкм оптического стекла II и особо чистого стекла II обусловлена повышенным содержанием воды (в виде ОН-групп), поскольку получают эти стекла наплавлением в водородно-кислородном пламени. Радиационная стойкость прозрачных стекол оценивается по возрастанию их оптической плотности после облучения. Высокой радиационной стойкостью обладает особо чистое стекло II. Наилучшие акустические св-ва у особо чистого стекла I. Произ-во прозрачного стекла начинается с предварительной обработки природного сырья, к-рое подвергают дроблению, обогащению и классификации на фракции крупки от $0,1 \div 0,5$ до $10 \div 25$ мм. Прозрачное оптическое получают газопламенным наплавлением крупки (0,2 мм) в водородно-кислородном пламени, прозрачное особо чистое стекло — плавлением чистой синтетической двуокиси кремния, а также высокотемпературным парофазным гидролизом или парофазным окислением тетрахлорида кремния в кислородной низкотемпературной плазме. Для получения прозрачного технического стекла крупку кварца плавят в индукционных электр. печах при т-ре выше 2000°C . Чтобы удалить пузырьки из чрезвычайно вязкого расплава, плавку ведут в разреженной среде при давлении около $1 \cdot 10^{-1}\text{--}1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., в конце плавки давление повышают до атмосферного либо до 25—50 ат. Прозрачное оптическое стекло применяют для устройств ультрафиолетовой и инфракрасной оптики (линз, ламп, трубок излучения),

смотровых стекол и люков хим. аппаратуры, реакторов, электр. печей, летательных аппаратов и батисфер. Из прозрачного особо чистого стекла изготавливают трубы, аппараты и емкости для полупроводниковой техники и радиоэлектроники; из прозрачного технического стекла — емкости и выпарные чаши, трубы и фасонные части для трубопроводов, лабораторную посуду и приборы, оболочки ртутно-кварцевых и бактерицидных ламп, сверхмощных светильников, генераторных ламп, спец. изделий высокочастотной техники, *стеклянное волокно* и нити. Непрозрачное К. с. получают из обогащенного первосортного кварцевого (стекольного) песка или жильного кварца. Непрозрачное стекло содержит не менее 99,2% SiO_2 и не более 0,6% Al_2O_3 ; 0,025% Fe_2O_3 ; 0,1% CaO ; 0,06% MgO и 0,02% R_2O . Скорость его кристаллизации максимальна при t -ре 1500—1530°С, теплопроводность увеличивается с повышением t -ры до 1000°С (см. рис. 2). Теплоемкость непрозрачного стекла составляет (при t -ре 0—1000°С) от 0,203 до 0,270 ккал/кг·град. Из непрозрачного стекла изготавливают трубы диаметром до 0,3 м и фасонные части к ним, крупногабаритную термо- и кислотостойкую хим. аппаратуру, стекловаренные горшки емкостью до 0,7 м³, стеклобрус для кладки стекловаренных печей, муфели для электр. печей, защитные чехлы термопар и др. Состав и св-ва К. с. стандартизованы ГОСТами 16548—71; 8680—58; 6377—52; 7300—54; 7382—55; 8681—58, 15130—69; 15177—70.

Лит.: Прянишников В. П. Кварцевое стекло. М., 1956; Справочник по производству стекла, т. 1. М., 1963; Ботвинкин О. К., Запорожский А. И. Кварцевое стекло. М., 1965; Стекло. Справочник. М., 1973. В. В. Родникова.

КВАРЦИТ — метаморфическая, массивная или сланцеватая горная порода, сложенная в основном кристаллически-зернистым кварцем, слившимся в плотную и крепкую массу с раковистым или занозистым изломом. К К. относятся также зернистые кварцевые породы в корах выветривания (гипергенные К.) и гид-

ротермально-метасоматические образования (вторичные К.). Кроме кварца, в К. содержатся примеси *полевых шпатов, слюд, хлорита, силлиманита, кианита, гранатов, роговой обманки, графита* и др. минералов, по к-рым выделяют разновидности кварцитов. Железистые К. содержат *гематит* и магнетит. К. образуется при региональном метаморфизме в результате *перекристаллизации* кварцевых песчаников и магматических пород типа кварцевых порфиров. Характеризуется высокой *огнеупорностью* и мех. прочностью. К., состоящие почти исключительно из кремнекислоты в любой ее разновидности, являются материалом для изготовления огнеупорного кирпича (*динаса*) в металлургической и отчасти коксовой промышленности, для получения кремния и его сплавов, а также служат *флюсом* при плавке медных и никелевых концентратов. Динасовые К. содержат 95—97% кремнекислоты, остальное — вредные флюсующие вещества (глинозема до 2%, щелочей до 0,5%, извести до 1,5%, менее вредных окислов железа до 1—5%). Кроме того, К. применяют как строительный, облицовочный и декоративный камень, абразивный и кислотостойкий материал.

Лит.: Лучицкий В. И. Петрография, т. 2. М.—Л., 1949; Дыбков В. Ф. (и др.). Курс месторождений неметаллических полезных ископаемых. М., 1969.

Ю. Р. Дамилович.

КВАСЦЫ — минералы класса *сульфатов*. Представляют собой нормальные двойные сульфаты алюминия и щелочей общего состава $\text{M}^+\text{Al}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, где M^+ может быть K^+ (калиевые К.), Na^+ (натровые К., или *мендицит*) и NH_4^+ (аммиачные, или аммониевые К., наз. также *чермигитом*). Иногда к К. относят некоторые многоводные двойные сульфаты моноклинной сингонии — *галотрихит*, *пиккерингит*, *калинит* и др. Хим. состав К. (соответственно калиевых, натровых и аммиачных) (%): M_2^+O — 9,9—6,8—5,8; Al_2O_3 — 10,8—11,2—11,2; SO_3 — 33,8 — 34,9 — 35,3; H_2O — 45,6—47,1—47,7. Калиевые и аммиачные К. характеризуются полной изоморфной (см. *Изоморфизм*) смесимостью.

Изоморфная замена Na^+ на K^+ или NH_4^+ сильно ограничена. Структура К. островная. Калиевые и аммиачные К. принадлежат к альфа-типу, отличающемуся от натровых гамма-квасцов несколько большим размером октаэдра $\text{Me}^+(\text{H}_2\text{O})_6$ и меньшим расстоянием $\text{Me}^+ - \text{SO}_4$. Сингония кубическая, вид симметрии дидокаэдрический. Природным образцам свойственны землистые массы, корки, выцветы, плотные зернистые агрегаты, налеты. Кристаллы, полученные искусственно, имеют вид октаэдров, кубов и комбинаций октаэдра с пентагонододекаэдром. Спайность (см. *Спайность минералов*) по (111) едва заметна. Плотность К. от 1,6 до 1,8 г/см³. Твердость 1—3. Растворимость в воде высокая: в 100 мл воды — 11,4 г (т-ра 20° С) калиевых, 110 г (т-ра 15° С) безводных натровых и 19,2 г (т-ра 25° С) аммиачных. Вкус сладковатый, вязущий. Цвет белый, бесцветный (см. *Цвет минералов*). Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Излом (см. *Излом минералов*) раковистый и занозистый. В проходящем свете бесцветны, изотропны, иногда аномально двупреломляют (мех. напряжения). Показатели преломления: $n = 1,456$ (калиевых), 1,438 (натровых) и 1,460 (аммиачных). При нагревании К. вначале расплавляются в собственной кристаллизационной воде (т-ра 60—90° С), далее теряют эту воду (около т-ры 150° С) и превращаются в т. н. *железные*. При дальнейшем нагревании плавятся и частично (щелочной компонент) диссоциируют (около т-ры 550° С), а затем разлагаются (т-ра 900—920° С). В природе образуются при окислении пирита, содержащегося в глиноземистых породах (глинах), в результате вулканической и сольфатарной деятельности, при самовозгорании угольных пластов, в составе т. н. «квасцовых земель», развитых в районах серных месторождений. Сырьем для получения К. служат *глины* (особенно каолиновые), бокситы и алунит. После умеренного обжига сырье обрабатывают серной кислотой при т-ре 70° С под давлением 4 ат, далее выщелачивают водой и упаренный фильтрат смешивают с горячим раствором сульфатов щелочей. Кристаллиза-

ция К. происходит при охлаждении смеси. К. применяют при крашении и печатании тканей, дублении кож, проклейке бумаги, для очистки воды, в медицине.

Лит.: Лукьянов П. М. История химических промыслов и химической промышленности России, т. 2. М., 1949; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дэна Д. ж. Д. и др. Система минералогии, т. 2, полутом 1. Пер. с англ. М., 1953. Л. К. Яхонтова.

КЕРАМЗИТ (от греч. *κέραμος* — глина) — пористый материал, получаемый скоростным обжигом легкоплавких глинистых пород. В СССР пром. произ-во К. в виде *гравия* освоено в 50-х гг. Разновидности К.: керамзитовый гравий, зерна к-рого размером от 5 до 40 мм в поперечнике округлой или гравелистой формы покрыты прочной спекшейся шероховатой оболочкой; керамзитовый щебень (зерна преим. угловатой формы размером от 5 до 40 мм в поперечнике), получаемый дроблением глыб вспученной массы К.; керамзитовый песок (зерна гравелистой формы размером от 0,15 до 5 мм с тонкой спекшейся оболочкой), получаемый обжигом глинистой мелочи; керамзитовый песок (зерна произвольной формы размером от 0,15 до 5 мм), получаемый дроблением более крупных кусков К. Получило распространение произ-во керамзитового гравия, включающее подготовку сырья, формование гранул сырца, термopодготовку гранул, скоростной (форсированный) обжиг, охлаждение и рассев на фракции. В зависимости от св-в переработка сырья в гранулы осуществляется сухим, пластическим или мокрым способом. По сухому способу перерабатывают однородное камнеподобное сырье, поддающееся дроблению и рассеву, по пластическому способу используют увлажненные пластичные и рыхлые глинистые породы как однородного, так и неоднородного состава, по мокрому способу используют хорошо размокающие глины с высокой склонностью к вспучиванию. Обжиг (вспучивание) К. осуществляют во вращающихся печах, печах кипящего слоя и печах др. конструкций (среда восстановительная, интервал т-р от 1150 до 1250° С). В процессе обжига содержа-

щиеся в глине высшие окислы железа и органические вещества выделяют газообразные продукты (кислород и окись углерода), вспучивающие глину в момент достижения ею пиропластического состояния. Особенностью этого процесса является необходимость совпадения во времени момента размягчения обжигаемой массы и момента выделения газообразных продуктов. Чтобы повысить качество К. и улучшить вспучивание, в глину вводят железистые, органические и др. добавки. Способность глины вспучиваться устанавливают экспериментально и характеризуют коэфф. вспучивания K , равным отношению объема вспученного образца V к первоначальному его объему до обжига V_1 , т. е. $K = \frac{V}{V_1}$. Для од-

ной и той же глины этот коэфф. может иметь различные значения в зависимости от условий обжига. Практическую величину коэфф. вспучивания рассчитывают по ф-ле $K_{\text{практ}} = 0,4 + 0,6 (K_{\text{макс}} + K_{\text{мин}})$. Св-ва К.: объемная масса (в куске) от 200 до 1000 кг/м³, коэфф. теплопроводности засыпки из сухого керамзитового гравия — от 0,08 до 0,16 ккал/м · ч · град (объемная насыпная масса засыпки от 200 до 800 кг/м³). В зависимости от размера зерен различают керамзитовый гравий (щебень) крупный (20—40 мм), средний (10—20 мм) и мелкий (5—10 мм); керамзитовый песок крупный (1,2—5 мм) и мелкий (до 1,2 мм). По объемной насыпной массе К. подразделяют на марки от 150 до 800 (в т. ч. от 150 до 600 через 50) и от 600 до 800 (через 100). По прочности на сжатие, определяемой сдавливанием в цилиндре, керамзитовый гравий подразделяют (ГОСТ 9759—71) на классы А и Б с прочностью (в кгс/см²) соответственно не менее: 4 и 3 (марка 150), 5 и 4 (марка 200), 7 и 6 (марка 250), 10 и 8 (марка 300), 13 и 10 (марка 350), 16 и 12 (марка 400), 20 и 15 (марка 450), 25 и 18 (марка 500), 30 и 21 (марка 550), 35 и 25 (марка 600), 45 и 30 (марка 700), 55 и 40 (марка 800), а также (ГОСТ 9757—73) с прочностью 5 ÷ 6,9 (марка П25),

7 ÷ 9,9 (марка П35), 10 ÷ 14,9 (марка П50), 15 ÷ 19,9 (марка П75), 20 ÷ 24,9 (марка П100), 25 ÷ 32,9 (марка П125), 33 ÷ 44,9 (марка П150), 45 ÷ 54,9 (марка П200), 55 ÷ 64,9 (марка П250), 65 ÷ 80 (марка П300), свыше 80 (марка П350). Водопоглощение керамзитового гравия в течение часа не должно превышать 25% (гравий марок до 400 включительно), 20% (гравий марок от 450 до 700 включительно) и 15% (гравий марки 800). Марка керамзитового гравия по морозостойкости должна быть не менее Мрз15, после 15 циклов стандартного испытания на морозостойкость потеря в массе пробы не должна превышать 8%. Керамзитовый гравий используют гл. обр. в качестве заполнителя для легких бетонов, а также для устройства тепло- и звукоизоляционных засыпок.

Лит.: Онацкий С. П. Производство керамзита. М., 1971.

Е. Л. Гуменюк, Б. В. Спектор.

КЕРАМЗИТОБЕТОН — бетон, в котором в качестве крупного заполнителя использован керамзит. В СССР пром. использование К. началось в 50-х гг. К. подразделяют: по объемной массе в высушенном до пост. массы состоянии — на особо легкий с объемной массой менее 500 кг/м³ и легкий с объемной массой от 500 до 1800 кг/м³; по структуре — на плотный (слитный) из крупного и мелкого заполнителя при полном заполнении межзеренных пустот крупного заполнителя раствором, неплотный крупнопористый бесшесчанный (только с крупным заполнителем) или малопесчаный пористый с частичным заполнением межзеренных пустот крупного заполнителя и псевдоплотный норизованный с песком или без песка с поризованным цементным камнем, поризация к-рого осуществляется введением пены или газообразующих либо воз-духововлекающих добавок; по назначению и осн. техническим св-вам — на теплоизоляционный с объемной массой до 600 кг/м³, маркой по прочности на сжатие 10—25 и коэфф. теплопроводности 0,10—0,12 ккал/м · ч · град, конструктивно-теплоизоляционный с объемной массой от 700 до 1400 кг/м³, маркой по прочности на сжатие 35—75 и коэфф. теплопроводности 0,15—0,40 ккал/м · ч · град, конструктивный с объемной массой

от 1400 до 1800 кг/м³ и маркой по прочности на сжатие 100—400. Конструктивно-теплоизоляционный и конструктивный К. по морозостойкости должны иметь марку не ниже Мрз15. Марки К. по прочности на сжатие (в кгс/см²): плотного — 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350 и 400, крупнопористого — 15, 25, 35, 50, 75 и 100; марки по морозостойкости — 10, 15, 25, 35, 50, 100 и 200; марки по объемной массе — от 400 до 1800 с градацией через 100. Состав К. зависит от требуемой объемной массы и прочности бетона, а также удобоукладываемости бетонной смеси. Насыщение бетона керамзитом должно быть возможно больше (0,9—0,95 м³ на 1 м³ уплотненного бетона), содержание раствора в составе бетона по объему не должно превышать объема межзеренных пустот керамзита более чем на 15%, расход воды назначают с таким расчетом, чтобы обеспечить наименьший выход бетона при заданных условиях вибрации. Чтобы снизить потребность в воде, применяют поверхностно-активные добавки (гл. обр. в бетоны низких марок). Марку керамзита подбирают в зависимости от заданных проектных марок К. по массе и прочности. В качестве мелкого заполнителя в К. используют перлитовый, керамзитовый и кварцевый песок: перлитовый — для теплоизоляционного и конструктивно-теплоизоляционного бетонов, керамзитовый — для конструктивно-теплоизоляционного и конструктивного, кварцевый — для конструктивного; в качестве вяжущего используют портландцемент марки 300 — 600, а для бетонов марки по прочности до 150 — шлакопортландцемент. К. отличается повышенной прочностью при малой объемной массе, на его произ-во расходуется меньше цемента, чем на приготовление обычного тяжелого бетона, что имеет существенное значение в производстве изделий больших размеров. К. применяют для армированных и армированных песущих конструкций, включая также предварительно напряженные. Используют его в наружных ограждающих конструкциях, в инженерных сооружениях, в к-рых собственная масса конструкции составляет значительную часть нагрузки, в железобетонном судо-

строении, как *теплоизоляционный материал*. Особенно целесообразно применение К. в сборных ограждающих конструкциях, когда от объемной массы бетона зависит их толщина и требуемая грузоподъемность монтажных механизмов. У К., применяемого в сборном жилищном строительстве, технико-экономические показатели лучше, чем у тяжелого бетона, как по стоимости 1 м² жилой площади, так и по расходу материалов и трудовых затрат. В судостроении использование К. вместо стали позволяет повысить на 20—30% грузоподъемность судна и на столько же снизить глубину погружения его в воду.

Лит.: Бужевич Г. А. [и др.]. Поризованный керамзитобетон. М., 1969; Бужевич Г. А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. М., 1970.

Б. В. Спектор.
КЕРАМИКА [греч. *keramik* (τέχνη) — гончарное искусство] — то же, что и *керамические материалы*.

КЕРАМИКО - МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, *к е р м е т ы* — материалы, представляющие собой гетерогенные композиции одной или нескольких керамических фаз с металлами; класс *композиционных материалов*. Обладают улучшенными св-вами, не присущими исходным компонентам. Впервые предложены (1922) в Германии как *твердые сплавы*. Композиции, в к-рых керамическая фаза улучшает св-ва металла, относятся к *дисперсноупрочненным материалам* (инфракерметы), соответственно керамика с металлом является улучшенной керамикой (ультракерметы). В К.-м. м. в качестве керамической фазы чаще всего используют *окислы*, *карбиды*, *бориды* и *нитриды* тугоплавких металлов, в качестве металлической фазы — металлы группы железа или тугоплавкие металлы — ванадий, хром, молибден, вольфрам, ниобий и тантал. Компоненты К.-м. м. должны удовлетворять спец. требованиям в отношении хим. стабильности, термической совместимости и возможности образования связи на границе фаз. Требование относительно хим. стабильности определяет такое сочетание

керамической и металлической фаз, чтобы между ними не происходило хим. взаимодействия с образованием соединений или чтобы металл не растворялся полностью в керамической фазе, что превратило бы композицию в смесь керамических фаз или однофазный материал. Для К.-м. м. на основе окислов в качестве металлической фазы применяют металлы, сходство к-рых к кислороду ниже, чем у металла окисла. Чаще всего используют металлы, образующие окислы, изоморфные (см. *Изоморфизм*) осн. окисному компоненту кермета, имеющие близкие параметры кристаллической решетки и образующие взаимные *твердые растворы*. В К.-м. м. на основе карбидов используют металлы, не образующие карбидов или растворяющие углерод в ограниченном количестве; в К.-м. м. на основе нитридов — металлы, к-рые не образуют стойких нитридов или растворяют азот в ограниченном количестве. Из-за хим. несовместимости с металлами некоторые соединения, обладающие ценными св-вами, напр. *силициды*, в К.-м. м. не используют. В этих соединениях атомы кремния обладают такой же активностью, как и в свободном состоянии. К.-м. м. конструкционного назначения классифицируют по содержанию керамических компонентов (окисные, карбидные и др.), а также по применению (жаропрочные, износостойкие, высокоогнеупорные, коррозионно-стойкие, для ядерных реакторов, электротехнического назначения). Первыми К.-м. м. конструкционного назначения были материалы на основе окиси алюминия, содержащие 30; 50; 70; 72 или 77% Cr. Однако поскольку окись алюминия и хром не удовлетворяют требованию совместности, керметы были улучшены введением различных добавок в керамическую и металлическую фазы, что повысило прочность материалов. Окись алюминия, как термически стойкая и жаропрочная, стала основой серии керметов. К наиболее перспективным из них относятся окись алюминия — тугоплавкий металл (молибден, вольфрам, ниобий, тантал), а также окись алюминия — ни-

кель, кобальт и железо. Разработаны керметы $Al_2O_3 - TiAl$, $Al_2O_3 - Ti$, к-рые получают с помощью экзотермических реакций. Широкое применение получила окись хрома. На ее основе разработаны керметы: окись хрома — хром, окись хрома — вольфрам и окись хрома — рений. Созданы также керметы на основе окиси магния: окись магния — хром, окись магния — никель, окись магния — *феррохром* и окись магния — вольфрам; керметы на основе двуокиси циркония: двуокись циркония — титан, двуокись циркония — молибден и двуокись циркония — вольфрам; керметы на основе двуокиси тория и урана: двуокись тория — молибден, двуокись тория — вольфрам, двуокись урана — вольфрам, двуокись урана — ниобий и двуокись урана — нержавеющей сталь. Среди обширного класса К.-м. м. на основе карбидов наибольшее распространение получили материалы из карбида вольфрама и кобальта — твердые сплавы. У карбидных керметов конструкционного назначения основа — из карбидов титана и хрома, часто с добавками карбидов тантала и ниобия. В качестве связки используют преим. кобальт и никель, иногда с молибденом, ниобием, хромом и вольфрамом. Прочность карбидотитановых керметов намного больше *прочности окисных керметов* и близка к прочности *жаропрочных сплавов* на металлической основе. Прочность керметов при высоких т-рах уменьшается, а пластичность увеличивается пропорционально количеству связывающего металла. Введение легирующих металлических добавок

Таблица 1. Химический состав карбидотитановых керамико-металлических материалов

Содержание компонентов, %							
TiC	Co	Ni	Fe	Cr	Mo	W	Al
50	33	1	—	13	3	—	—
50	30	5	—	12	—	3	—
47	—	42	3	7,5	—	—	0,5
50	—	27	3	9	9	2	—
35	—	—	65	—	—	—	—
50	—	—	39	2	—	9	—

повышает жаростойкость и пластичность керметов. Несмотря на достаточно высокое содержание металлической фазы *длительная прочность* карбидных керметов при высокой температуре превышает длительную прочность жаропрочных металлических сплавов, однако их *ударная вязкость* остается на довольно низком уровне. *Жаростойкость* карбидных керметов достаточно высока. Особую группу К.-м. м. на основе карбида титана составляют материалы, полученные *пропиткой* спеченного пористого карбидтитанового каркаса железом, никелем, кобальтом и их сплавами — *стеллитом*, *инконелем*, *хастелоем* С, малоуглеродистой быстрорежущей сталью (табл. 1).

Твердость этих материалов составляет от 65 до 75 *HRA*. Длительная (100-часовая) прочность (при температуре 980° С) керметов, пропитанных стеллитом 21, равна 14,2 кгс/мм², пропитанных стеллитом 31—15,2 кгс/мм². Кроме К.-м. м. из карбида титана, пропитанных сталью, разработаны материалы, получаемые спеканием.

К.-м. м. на основе карбида титана обладают недостаточной *жаростойкостью*, вследствие чего к ним добавляют карбиды тантала, ниобия, хрома, кремния или бора. Введение этих карбидов изменяет строение *окалины*, она становится плотной, препятствуя проникновению кислорода. Относительно высокой жаростойкостью отличаются К.-м. м. на основе карбида хрома. При температуре до 1100° С они покрываются тонкой защитной пленкой, которая предохраняет от дальнейшего окисления. Карбидохромовые керметы марок КХН и 608 (табл. 2), содержащие от 10 до 40% Ni, хорошо сопротивляются абразивному износу (см. *Абразивность*), коррозии в щелочах и кислотах, растворах минеральных солей, морской воде, расплавленном стекле (см. *Коррозия металлов*).

На основе диборидов хрома и циркония преим. с никелевой связкой разработаны К.-м. м. (боролиты) (табл. 3)

Таблица 2. Свойства карбидохромовых керамико-металлических материалов

Марка материала	$\alpha \cdot 10^{-6}$ (при $t_{ре}$ 20— 1000° С), град ⁻¹	1/ρ (% от 1/ρ меди)	HRA	$\sigma_{сж}$, кгс/мм ²	E, кгс/мм ²	μ, гс/э	α_H , кгс × × см/мм ²
608	12,2	2,1	88,3	352	35 200	0,28	—
КХН	11,1—13,3	2,0—2,8	85—90	280—350	32 000— 34 000	—	10,0—20

Таблица 3. Свойства керамико-металлических материалов (боролитов)

Боролит	$D, \text{ г/см}^3$	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^{-6}, \text{ град}^{-1}$	$\rho, \text{ г. см. мм}^3/\text{м}$	$\sigma_{\text{н}}, \text{ кгс/мм}^2$	$\sigma_{\text{в}} \text{ (при } t\text{-ре } 1000^\circ \text{ C)}, \text{ кгс/мм}^2$	HRA	Сопротив- ление теп- ловому удару	
На основе борида циркония	4,38—4,66	2990	5,76	17	44	13	88—90	Очень хо- рошее	
На основе борида хрома	Серия 300	5,44— 5,49	1760—1900	9,8	36—78	56—97	8,4— 19,6	73—86	Отличное
	Серия 400	5,49— 6,41	1870—1980	9,9	27—54	63—98	8,47	77—88	Отличное

получаемые в основном горячим прессованием, поскольку при длительной выдержке уже при т-ре выше 1050°C образуются легкоплавкие бориды никеля. Изделия из К.-м. м. изготавливают методами порошковой металлургии. Одной из важных стадий технологического процесса является приготовление однородной дисперсной смеси компонентов. Такую смесь получают с помощью мех., хим. и физ. методов. К мех. методам относится перемешивание, осуществляемое одновременно с измельчением в шаровых, вибрационных или планетарных мельницах, часто с применением поверхностно-активных веществ. Кроме того, применяют метод армирования, заключающийся в послойном размещении металлической сетки и керамического порошка. Наиболее равномерно распределяются компоненты в объеме с помощью хим. методов, обеспечивающих одновременно получение чрезвычайно *дисперсных структур*. К химическим относятся: метод осаждения на поверхности керамических частиц растворимых в воде солей в процессе выпаривания с непрерывным перемешиванием и последующим восстановлением: $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}_2$; метод гидролиза легко растворимых в воде хлоридов, напр. AlCl_3 и CrCl_3 , гидроокиси к-рых после сушки и восстановительного *отжига* превращаются в окислы алюминия и хрома; метод осаждения металлов из растворов хлористых солей, напр., гипофосфит натрия при непрерывном перемешивании суспензии керамического порошка и непрерывной подаче гипофосфита в аммиачной среде ($\text{pH} = 8-8,5$): $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{NaHPO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ni} + \text{NaCl} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$; метод высокотемпературного восстановления смеси окислов металлов с удалением газообразных продуктов реакций (смесь исходных веществ получают мех. перемешиванием): $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_3\text{C}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr} + \text{CO} \uparrow$ или $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{C} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr} + \text{CO} \uparrow$; метод термического восстановления металлами с высоким сродством к кислороду: $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3 +$

$+ \text{Mg} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Cr}$, с помощью к-рого получают тонкостенные изделия пропиткой керамической заготовки активным металлом. Кроме того, к химическим относятся методы электролиза и электрофореза, обеспечивающие равномерное покрытие дисперсных керамических частиц тонким металлическим слоем, что позволяет при относительно малом объеме содержания металлической фазы получать материалы с непрерывным металлическим каркасом. Физ. методы получения смеси: метод пропитки спеченного керамического каркаса металлом, широко используемый при создании карбидных керметов, и метод осаждения металла из газовой фазы на керамические частицы при непрерывном перемешивании. Испаряют металл из перегретого расплава, а осаждают на холодный или нагретый керамический порошок. Изделия из К.-м. м. получают формованием заготовок из смеси порошков и спеканием их при высокой т-ре. Несмотря на наличие металлических порошков, пластичность смесей недостаточна для получения изделий прессованием, поэтому смеси перед формованием пластифицируют, используя для этого различные органические и неорганические пластификаторы. Количество вводимого пластификатора определяется методом формования, выбор к-рого зависит от размеров и формы требуемой заготовки. Прессование в стальных пресс-формах применяется для получения изделий несложной формы и относительно малой высоты. Для увеличения размеров прессовок, достижения одинаковой плотности во всем их объеме и возможности изготовления изделий более сложной формы часто применяют вибрационное прессование. При воздействии перем. импульсов эффективные коэфф. трения между частицами становятся значительно меньше, резко уменьшается различие в плотности. Более равномерное распределение плотности достигается с помощью изостатического прессования в газе или жидкости (гидростатическое прессование), к-рое выполняют при комнатных или высоких т-рах. Разновидностью этого способа является прессование в упругих оболочках (резиновая масса на основе натурального каучука), что

... требует применения гидравлических систем высокого давления.

Длинные изделия в виде стержней, труб и др. профилей сложной формы изготавливают методом мундштучного прессования в пресс-форме или вакуум-шнекпрессе и вакуумном червячном прессе. Для прессования используют пластифицированные массы, содержащие пластификатор в количестве, достаточном для покрытия тонкой пленкой частиц и заполнения пустот между частицами. Крупногабаритные изделия с тонкими стенками ($< 4-5$ мм) формируют литьем водных шликеров в гипсовые формы. Структурно-механические св-ва шликеров регулируют изменением среды, введением поверхностно-активных веществ. Стабилизируют шликеры введением полимера акриловой к-ты ($\sim 1\%$) и альгината натрия (0,5%). Ограничивают применение этого способа низкая производительность и неравномерная плотность по сечению. Изделия небольших размеров и сложной формы с отверстиями или выступами на различных плоскостях формируют методом горячего литья под давлением. С этой целью используют шликер на термопластичной связке (парафине, воске). Шликер, нагретый до t -ры $60-80^\circ\text{C}$, подается под давлением в металлическую форму, где он затвердевает. Применяют также метод горячего прессования, совмещающий прессование и спекание. Процесс осуществляется обычно в графитовых пресс-формах, длится несколько минут и позволяет получать изделия или заготовки с требуемой пористостью при t -рах намного ниже t -р спекания. Применение этого метода ограничено из-за низких производительности и экономичности. Осн. массу изделий получают спеканием, перед k -рым сформованные по одному из методов заготовки подвергают сушке или спец. термической обработке для удаления пластификатора. Спекание осуществляется в печах с различной газовой средой или в вакууме при t -рах, обеспечивающих получение изделий с требуемыми св-вами. Спекание может сопровождаться взаимодействием компонентов на границе как твердых, так и твердой и жидкой фаз. Твердофазное спекание протекает вследствие термодинамической неустойчивости порошка, k -рая

обусловлена развитой поверхностью, а также избыточной концентрацией точечных и линейных дефектов. Применение дисперсных порошков, интенсивное перемешивание компонентов и увеличение плотности при прессовании способствуют протеканию диффузионных процессов и получению материалов с улучшенными св-вами. При жидкофазном спекании скорость процесса в значительной степени зависит от пористости прессовки, количества жидкой фазы, размера твердых частиц, растворимости и смачиваемости твердой фазы жидкой. Жидкая фаза при хорошем смачивании ($< 90^\circ$) и выполнении условия $2\gamma_{\text{тж}} < \gamma_{\text{тг}}$ (где $\gamma_{\text{тж}}$ — поверхностная энергия на границе твердой и жидкой фаз; $\gamma_{\text{тг}}$ — поверхностная энергия на границе твердых фаз) заполняет зазоры между твердыми частицами и служит смазкой, что приводит к процессу перегруппировки, укладке частиц. В дальнейшем, если твердая фаза растворяется в жидкой, происходит растворение мелких частиц, выступов на частицах и осаждение вещества твердой фазы на участках поверхности с большой отрицательной кривизной. Если количество жидкой фазы недостаточно либо не выполняется условие $2\gamma_{\text{тж}} < \gamma_{\text{тг}}$, происходит твердофазное спекание, k -рое активизируется жидкой фазой. В K -м. жидкой фазой, как правило, служат металлы, однако иногда ею становится керамическая фаза, напр. в материалах с тугоплавкими металлами: $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{W}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Mo}$. K -м. м. являются относительно твердыми материалами, обладающими низкой пластичностью при комнатной t -ре. Изделия из них обрабатывают с помощью спец. режущего инструмента (из твердых сплавов, гексантил-Р, алмаза, боразона), а также шлифованием, полированием, ультразвуком или (при большом содержании металлической фазы) электроискровым методом. Из K -м. м. изготавливают (благодаря их высокой износостойкости) штампы, фильеры, матрицы для протяжки черных и цветных металлов методом холодной

деформации, пресс-формы для прессования изделий из порошков. С этой целью используют керметы на основе карбида хрома, применяемые также как *коррозионностойкие материалы*. Кермет 15% Ni + 83% Cr₃C₂ + 2% W используют для изготовления подшипников и уплотнений в насосах, подающих соленую воду при т-ре 80° С, пресс-форм для горячего выдавливания (930—1090° С) латунных профилей, где износ в значительной степени обусловлен агрессивным воздействием среды. Из керметов марки КХН изготавливают детали насосов для перекачки кислот, клапанов нефтяных скважин, сопла для агрессивных жидкостей и газов. К.-м. м., особенно на основе окислов, несмотря на наличие металлов, обладают достаточно высокой *огнеупорностью*. Поэтому для плавки, напр., химически активных¹ металлов используют материалы на основе двуокиси циркония с титаном или цирконием. Керметы Al₂O₃ — Cr применяют в виде стержней для регулирования потока металла, напр. потока меди, вытекающей через конусообразное отверстие, для изготовления разливочных желобов литейных машин. Керметы на основе окислов и металлов (хрома, молибдена и вольфрама) идут на изготовление защитных чехлов термопар, с помощью к-рых измеряют т-ру в насадках регенераторов мартеновских печей, расплавленной стали в мартеновских печах и конверторах, алюминия и криолито-глиноземного расплава в алюминиевых электролизерах, меди штейна и шлака в медеплавильных агрегатах. Некоторые К.-м. м. применяются для изготовления испарителей металлов в вакууме, напр. кермет Al₂O₃ — TiN — W — для испарителя никеля. В электронике К.-м. м. нашли применение для изготовления термоэлектронных катодов (см. *Термоэмиссионные материалы*), служащих источником электронов в электронных устройствах (керметы ThO₂ — W, ZrC — W, LaB — W). Из керметов 4% TiO₂ + 96% W изготавливают цилиндры и диски в магнетронах, клистронах и электронных лампах бегущей волны. Их эмиссия порядка

15 а/см² при т-ре 1300° С, т-ра эксплуатации 1250—1600° С. В ядерной технике К.-м. м. применяют для изготовления теплоделяющих элементов (UO₂ — Al; UO₂ — нержавеющая сталь; UO₂ — Al₂O₃ — Cr), защитной арматуры (Cr₂O₃ — Cr), регулирующих и аварийных стержней (окислы редкоземельных элементов — нержавеющая сталь; карбид бора — нержавеющая сталь).

Лит.: Будников П. П., Пивинский Ю. Е. Новые керамические материалы. М., 1963; Будников П. П. [и др.]. Новая керамика. М., 1969; Бреховских С. М. [и др.]. Металлотермический метод получения керметов. «Порошковая металлургия», 1972, № 3; Туманов В. И. Свойства сплавов системы карбид вольфрама — карбид титана — карбид тантала — карбид ниобия — кобальт. М., 1973; Жаропрочные и коррозионностойкие металлокерамические материалы. Пер. с нем. М., 1959; Кингери У. Д. Введение в керамику. Пер. с англ. М., 1967; Киффер Р., Беневский Ф. Твердые сплавы. Пер. с нем. М., 1971. П. С. Кислый.

КЕРАМИЧЕСКИЕ КРАСКИ — краски на основе окрашенных окислов металлов или их смесей. Используются с глубокой древности. Закрепляются *обжигом* на поверхности керамических изделий. Различают К. к. подглазурные и надглазурные. Подглазурные краски используют для *декорирования* предварительно обожженных (т-ра обжига 700—1100° С) керамических изделий (гл. обр. *фаянса*), к-рые затем покрывают *глазурью* и окончательно обжигают (т-ра обжига фаянса 1150—1250° С, *фарфора* 1300 ÷ 1400° С). Такие краски не соприкасаются с окружающей средой, вследствие чего надолго сохраняют стойкость и блеск. Пигментом подглазурных красок зеленого цвета служит трехвалентная окись хрома, красок синего цвета — окислы кобальта, красок желтого цвета — сурьмянокислый свинец, красок серого, черного и темно-коричневого цвета — смеси *твердых растворов* окислов железа, марганца, хрома, кобальта, никеля или их соединений. Подглазурные краски от розового до красно-фиолетового оттенка (т. н. *пинки*) представляют собой сложные твердые растворы на основе *шпинелей*, окрашенных хромом, на цвет к-рых влияют содержащиеся в них окислы олова, а также добавки других окислов (бора, калия, натрия и др.). Содержащиеся

вещества удерживают от осыпания частицы пигмента и при обжиге выгорают. Разновидностью подглазурных красок являются водные растворы солей красящих окислов, позволяющие получать изображения неярких цветов и мягких контуров. Надглазурные краски, используемые преим. для декорирования фарфора, наносят поверх глазури и закрепляют обжигом (т-ра 690—830° С). Чтобы частицы пигмента закрепились во время обжига на поверхности глазури, в краски вводят органические природные или синтетические эфирные масла, испаряющиеся при нагреве без коксового остатка, а также частицы легкоплавкого стекла (флюса) — 50—80% от количества пигмента. Пигменты надглазурных красок красных тонов служат трехвалентная окись железа, хромовокислый свинец или твердый раствор сульфида-селенида кадмия, красок пурпурных тонов — пигменты, окрашенные частицами коллоидного золота, осажденного на частицы двуокиси олова или окиси алюминия, красок желтого цвета — сурьмянокислый свинец, красок коричневого и серого цвета — твердые растворы соединений и окислов железа, марганца, хрома, цинка, кобальта и никеля. Синие пигменты изготавливают на основе окиси кобальта, реже — окиси меди или их смесей, зеленые пигменты — на основе трехвалентной окиси хрома и некоторых шпинелей и их твердых растворов, фиолетовые пигменты — из смеси пурпурных или красных пигментов с синими. Смешивание красок для получения промежуточных тонов не всегда допустимо из-за возможного взаимодействия между пигментами при высокой т-ре с изменением их цвета. Наиболее часто применяемые флюсы: свинцово-силикатные (т-ра обжига 500—600° С), борно-свинцово-силикатные (400—545° С), щелочно-борно-свинцово-силикатные (550—780° С). К надглазурным краскам относятся также порошкообразные и жидкие препараты золота, платины и серебра. Слой «матового» или порошкообразного золота вжигают в глазурь при т-ре около 850—875° С, а затем полируют (как флюс используют смеси окислов висмута и буре). «Глянц-золото»

наносит вжиганием (т-ра 760—790° С) в глазурованный слой препарата т. н. жидкого золота, содержащего золото (16—25%), висмут, родий и др. добавки. Аналогично наносят слой серебра, платины. Иногда для декорирования глазурованных изделий используют тонкие пленки окислов висмута, марганца, хрома, железа и др. металлов — т. н. люстры, создающие радужные переливы. Перед декорированием поверхность изделия покрывают резинатом соответствующего металла, сушат, а уже затем вжигают (т-ра 600—700° С) люстр.

Лит.: Будников П. П. [и др.]. Технология керамики и огнеупоров. М., 1962; Визир В. А., Мартынов М. А. Керамические краски. К., 1964; Shaw K. Ceramic colors and pottery decoration. New York, 1969.

С. Г. Тресвятский.

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, керамика — поликристаллические материалы, получаемые спеканием природных глини их смесей с минеральными добавками, а также окислов металлов и др. тугоплавких соединений. Используются с 5-го тысячелетия до н. э. Большинство К. м. являются кислородсодержащими соединениями. К кислородсодержащим относятся силикатные К. м. (на основе глины и др. силикатов) и К. м. из чистых тугоплавких окислов металлов (окислов бериллия, магния, алюминия, циркония, гафния и т. п.). К бескислородным принадлежат К. м. из карбидов, нитридов, боридов и силицидов. Различают К. м. пористые и плотные (каменная керамика); грубые (с неоднородным строением, преим. окрашенные) и тонкие (слабо окрашенные или белые с мелкокристаллическим строением). С уменьшением пористости водопоглощение К. м. снижается. К грубой пористой керамике (водопоглощение не ниже 5—10%) относится большая часть строительных силикатных К. м. — строительный кирпич, в т. ч. силикатный кирпич, черепица, стеновая керамика, плиточная керамика, термостойкая майолика, некоторые огнеупорные материалы, абразивные материалы и др., к грубой плотной керамике (водопоглощение не выше 10%) —

глинкер, кислотостойкий кирпич, плитки для пола (т. н. метлахские плитки) и т. п. К тонкой пористой керамике относятся *фаянс*, полуфарфор, белая и цветная майолика, к тонкой плотной керамике — *фарфор*, многие огнеупорные материалы, в частности обладающие повышенной *огнеупорностью* и состоящие из чистых тугоплавких окислов металлов, нитридов, карбидов, силицидов и др. бескислородных соединений, *керамическое ядерное горючее*, радиокерамика и т. п., а также материалы электротехнического назначения. В зависимости от требований, предъявляемых к электрофиз. св-вам таких материалов, напр. к величине относительной *диэлектрической проницаемости*, в их состав вводят различные окислы. К. м., применяющиеся гл. обр. для изготовления установочных деталей (т. н. установочная керамика) и высокочастотных конденсаторов малой емкости, должны обладать небольшой относительной диэлектрической проницаемостью (ниже 10). Такие К. м. изготавливают на основе силикатов — *радиофарфор* (муллитокремнезистая керамика), *ультрафарфор*, керамика стеатитовая и форстеритовая (на основе силикатов магнезия), волластонитовая (на основе *волластонита*), цирконо-муллитовая (смесь силикатов циркония и алюминия), анортитовая (на основе алюмокальциевого силиката) и цельзиановая (на основе алюмобариевого силиката), а также на основе смеси силикатов с др. тугоплавкими окислами — керамика корундо-муллитовая (окись алюминия с примесью *муллита*), шпинеле-форстеритовая (алюмомагнезиальная *шпинель* с примесью *форстерита*), форстерито-периклазовая (включающая *периклаз*) и несиликатная окисная (напр., корундовая или шпинелевая). В состав К. м. с повышенной диэлектр. проницаемостью, применяемых для изготовления керамических конденсаторов, вводят двуокись титана (*рутил*), титанаты, тантаны и цирконаты щелочноземельных металлов (напр., титкондовая керамика). На основе титаната бария и др. титанатов, цирконатов, ниобатов и их *твердых раство-*

ров изготовляют сегнетоэлектрические материалы. Пьезоэлектрические материалы. Плотность К. м. из силикатов $2,25 \div 2,80 \text{ г/см}^3$, из алюмосиликатов $3,0 \div 4,5$, из окислов тяжелых металлов $4,5 \div 9,0 \text{ г/см}^3$ и выше. Большая часть строительных К. м. — фаянс, огнеупорные и теплоизоляционные материалы — имеют открытую пористость 15–20, а некоторые ультралегковесные теплоизоляционные материалы — до 90%. Закрытой пористостью отличаются фарфор, кислотостойкие и др. материалы. Близка к нулю истинная пористость спец. К. м. (напр., прозрачной керамики). Размер открытых пор составляет в среднем $\frac{1}{3}$ от размера зерна; закрытые поры значительно меньше размера зерна и располагаются внутри зерен, по границам зерен или внутри связующей фазы. Открытая пористость образуется уже при формировании, постепенно переходя в закрытую при значительном спекании. Коэфф. термического расширения К. м. зависит от т-ры, фазового состава и кристаллического строения (от микроструктуры и пористости, если нет текстуры керамики, зависит мало). Коэфф. термического расширения К. м., состоящих из фаз с резкой анизотропией теплового расширения (напр., Al_2TiO_5), может быть близок к нулю или меньше нуля (в узком интервале т-р). Низкий и устойчивый в широкой температурной области коэфф. термического расширения ($\sim 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$) — у К. м. на основе кварцевого стекла, наиболее значительный — у материалов на основе окислов с простой кристаллической решеткой (напр., у MgO — $13,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$), средний ($5 \div 8$) $\times 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ — у силикатных К. м. Теплоемкость К. м. зависит от т-ры. При повышении т-ры от 300 К она пропорциональна третьей степени температуры, при более высоких температурах близка к $6 \text{ ккал/г-атом} \cdot \text{К}$. В процессе полиморфного превращения фаз (см. *Полиморфизм*) теплоемкость изменяется скачкообразно. Т-ра плавления определяется хим. составом К. м. и равна истинной т-ре плавления вещества только у однофазных конгруэнтно плавящихся материалов. Для двухфазных и более сложных по фазовому составу мате-

материалов характерен интервал плавления. Огнеупорные К. м. вместо т-ры плавления характеризуют огнеупорностью. Их т-ры плавления (огнеупорности) 900—3000° С. Коэфф. теплопроводности К. м. зависит от состава, структуры и т-ры. У кристаллических К. м. он определяется упругими колебаниями решетки. Из-за возрастания ангармоничности колебаний при повышении т-ры их коэфф. теплопроводности снижается с ростом т-ры, особенно в области ниже характеристической т-ры Дебая (100—1000 К у большинства К. м.). При более высоких т-рах он изменяется слабо. Уменьшение симметрии решетки или образование твердых растворов приводит к возрастанию ангармоничности и уменьшению коэфф. теплопроводности. В материалах с кристаллами пластинчатого строения наблюдается анизотропия теплопроводности. У К. м. некристаллического строения (напр., на основе кварцевого стекла) ср. длина пробега фонона соизмерима с межатомным расстоянием и мало зависит от т-ры, поэтому теплопроводность таких материалов оказывается низкой и не зависит от т-ры или незначительно повышается с изменением ее. У пористых К. м. теплопроводность снижается при повышении пористости. Упругие св-ва К. м. зависят от пористости, фазового состава и строения кристаллической решетки фаз, образующихся в материале, и не зависят от размера зерна. Модуль норм. упругости составляет $(0,4 \div 3,7) \cdot 10^6$ кгс/см². С повышением т-ры модуль упругости уменьшается. Особенно значительное снижение происходит при т-ре появления жидких фаз. Большинство К. м. (кроме огнеупорных) используют при т-ре от -40 до +45° С. В этих условиях все К. м. разрушаются хрупко. Отношение предела прочности на сжатие к пределу прочности на растяжение равно у них 8—15. Предел прочности на изгиб составляет 1,1—1,3 от предела прочности на растяжение. Предел прочности на изгиб изменяется от 100 до 6000 кгс/см², предел прочности на сжатие — от 200 до 100 000 кгс/см². На прочность К. м. влияют размер образцов (см. *Масштабный фактор прочности*) и пористость. У К. м. зависимость проч-

ности от размера зерна более сложная, чем у металлических материалов. Так, прочность К. м. в поликристаллическом состоянии может быть ниже ср. прочности монокристалла (напр., из Al₂O₃) и выше ее (напр., из MgO). Выражение Стро — Петча вида $\sigma = \sigma_0 + K_y d^{-1/2}$ (где σ — прочность; σ_0 — константа, близкая к прочности монокристалла; K_y — постоянная; d — размер зерна) у К. м. реализуется не во всех случаях. Иногда трещины возникают или имеются в зародыше в местах контакта зерен, и ур-ние зависимости прочности от размера зерна приобретает вид $\sigma = A d^{-1/4}$ (где A — константа, учитывающая энергию когезионной связи между зернами). У материалов двухфазного строения при возникновении трещин в связующей фазе прочность удовлетворяет ур-ние вида $\sigma = \sigma_c + \left[K \frac{1 - \Phi}{\Phi} \right]^{-1/2} \cdot d^{-1/2}$ (где

σ_c — константа, пропорциональная поверхностной энергии связующей фазы; K — постоянная; Φ — объемное содержание в К. м. кристаллической фазы в частях от единицы; d — ср. размер зерна кристаллической фазы). Прочность пористых К. м. «каркасного» строения, состоящих из связанных между собой в непрерывный твердый каркас зерен, может быть определена либо из выражения $\sigma = A_2 d^{-1/4}$ (если прочность вещества в контакте между зернами меньше или равна прочности зерен), либо из выражения $\sigma = A_3 d^{-1/2}$ (если прочность вещества в контакте больше прочности зерна). В К. м. однофазного строения, если нет сегрегации примесей по границам зерен или если разориентация зерен незначительна, возможна независимость (в определенных пределах) прочности от размера зерна. Прочность К. м. с повышением т-ры вначале обычно несколько возрастает, а с достижением определенной т-ры — резко снижается. *Ползучесть* К. м. появляется при т-ре выше 200—300° С. Если продолжительность нагружения увеличивается с 10^{-2} до 10^5 сек, прочность уменьшается в два-три раза. Проч-

ность К. м. снижается в поверхностно-активной газовой или жидкостной среде (эффект Ребиндера). Стойкость к термическому удару зависит как от хим. состава, так и от структуры К. м., увеличиваясь с ростом прочности и понижением модуля упругости и коэфф. термического расширения материала. Большинство К. м. — *электроизоляционные материалы*, некоторые (напр., керамика из окислов металлов с перем. валентностью, ферриты) — *полупроводниковые материалы*. Удельное сопротивление при $t = 100^\circ \text{C}$ определяется преим. поверхностным сопротивлением, мало зависящим от состава К. м., а при высоких t -рах объемное сопротивление в значительной степени зависит от концентрации примесных и нестехиометрических дефектов, концентрация к-рых определяется парциальным давлением кислорода над образцом в момент измерения. К. м., за исключением керамики из окислов щелочноземельных и некоторых редкоземельных металлов, стойки к воде и нейтральным растворам к-т. Силикатные К. м. стойки к кислотам, кроме фтористоводородной к-ты и кислот фторидов, а также (при повышенных t -рах) концентрированных растворов фосфорных к-т и кислых фосфатов. Крепкими растворами едких щелочей при повышенных t -рах они разрушаются, что связано с образованием растворимых щелочных силикатов. К. м. из окислов, не относящихся к силикатам, разрушаются крепкими минер. к-тами. Исключение — керамика из окси алюминия, к-рая стойка во фтористоводородной к-те, но разрушается фосфорной к-той и расплавленными щелочами. При нагревании на воздухе К. м., за исключением материалов из бескислородных соединений, стойки и не окисляются до t -ры плавления. Однако они разрушаются при высоких t -рах газообразными галогенидами (особенно фтором и хлором). Силикатные К. м. изготавливают из глины с добавками или без добавок отощающих веществ (природных сыпучих материалов, напр. *песка*, или специально приготовленных, напр. *шамота*). Количество добавок опре-

деляется *пластичностью* глиняно-водной смеси. Для придания плотности и водонепроницаемости на рабочую поверхность наносят *глазурь*, а для изменения ее цвета — *ангоб*. Заготовки получают из пластичной массы или из полусухого порошка. Влажность пластичной массы 15—25, полусухого порошка 5—10%. Изделия из пластичной массы формуют выдавливанием на шнековых (ленточных) прессах. Выходящую из пресса заготовку (ленту) разрезают на изделия нужной длины (кирпич, трубы и т. п.). Иногда такие изделия (напр., черепицу) формуют, заполняя массой пористую форму (обычно гипсовую). Сформованные изделия сушат в сушилках, а затем спекают в печах для *обжига*. Изделия из полусухих порошков прессуют в металлических формах под давлением 150—1000 кгс/см^2 . Св-ва строительных К. м. зависят от состава глины и способа изготовления. Их цвет от белого (облицовочные плиты, кирпич) до красного или бурого (в зависимости от количества окислов железа и титана в глинах). К. м. хозяйственного и бытового назначения изготавливают из природного сырья (глины, *каолина*, *кварца*, *полевого шпата*), не содержащего примесей окислов железа. При изготовлении изделий из фарфора, фаянса или майолики в состав шихты вводят не менее 30—80% глины и каолинов. К. м. технического назначения (электротехнический фарфор, кислотостойкие и огнеупорные материалы класса шамота, *динаса* и др.) также изготавливают из природного сырья; радиофарфор — из смеси природных материалов с синтетическими хим. продуктами; пьезокерамические изделия, ферриты и др. — из синтетического сырья. К. м., не содержащие глины (напр., сегнетоэлектрические материалы, огнеупорные материалы из чистых окислов), изготавливают с использованием пластифицирующих добавок типа клеев. Из массы с 5—15% пластифицирующих добавок прессованием, *экструзией* или др. способами формуют изделия. После сушки их подвергают обжигу. При формовании изделий из порошков прессованием, экструзией или литьем используют также термопластификаторы (парафин, озокерит и их смеси и

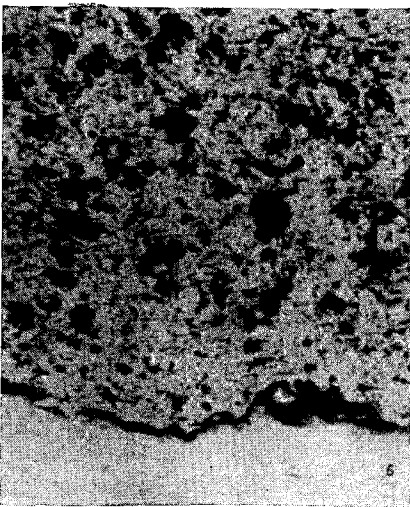
п.), к-рые обеспечивают пластичность смеси при нагреве до т-ры 50—70° С. Пластификатор удаляют из отлитых изделий, подвергая их обжигу в засыпке из мелкозернистого порошка или на пористой основе. Метод горячего литья под давлением используют для изготовления изделий особо сложной формы для радиоэлектроники (микроконденсаторы и т. п.). К. м. регламентирует ГОСТ 2409—44. См. также *Дефекты керамики*.

Лит.: Будников П. П. [и др.]. Технология керамики и огнеупоров. М., 1962; Бутт Ю. М., Дудеров Г. Н., Матвеев М. А. Общая технология силикатов. М., 1962; Черепанов А. И., Тресвятский С. Г. Высокоогнеупорные материалы и изделия из окислов. М., 1964; Балкевич В. Л. Техническая керамика. М., 1968; Будников П. П. [и др.]. Новая керамика. М., 1969; Августиник А. И. Керамика. Л., 1975.

С. Г. Тресвятский

КЕРАМИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ — кристаллические окисные покрытия, наносимые на поверхность металлических и неметаллических изделий. К. п. повышают хим., термическую и мех. стойкость поверхности изделий, защищая их от разрушающего действия внешней среды. Различают К. п. высокотемпературные (используемые при т-ре выше 800° С) и низкотемпературные (эксплуатируемые

Микроструктура керамического покрытия Al_2O_3 (А) на стали (Б), нанесенного плазменным напылением, $\times 160$.



при т-ре до 800° С); моноокисные, состоящие из одного окисла (Al_2O_3 , ZrO_2 , Cr_2O_3 , SeO_2 , TiO_2 и др.), и полиокисные, содержащие два и более окислов. Полиокисные К. п. часто содержат в исходном составе окислы, к-рые в процессе закрепления или эксплуатации образуют хим. соединения постоянного (напр., $MgO \cdot Al_2O_3$) или переменного ($MgO \cdot nAl_2O_3$, $mAl_2O_3 \cdot nCr_2O_3$) состава. К. п. бывают также стеклокерамические и керамико-металлические, в к-рых основой (наполнителем) служат тугоплавкие кристаллические окислы, а связкой — стекла или различные металлы. Св-ва таких покрытий определяются св-вами исходных компонентов, особенностями их взаимодействия, *поверхностной энергией и смачиванием* твердых окислов (основы) расплавами стекла или металла (связки). В зависимости от размеров, формы и назначения изделий, а также св-в наносимого материала К. п. получают *эмалированием*, *шликерным* способом (нанесением и сплавлением водной суспензии — шликера), газопламенным и плазменным напылением (рис.), осаждением из газовой фазы, погружением изделия в жидкие металлы с последующим их окислением. Для получения покрытий шликерным способом из измельченных до нужной дисперсности материалов покрытия и классифицирующих веществ (2—5% глины или *бентонита*) готовят в шаровых мельницах шликеры, к-рые навоят на поверхность погружением в них изделий, пульверизацией или электростатическим напылением. Затем изделия высушивают при т-ре 100—120° С, а далее подвергают *обжигу* до т-ры, при к-рой шликерное покрытие оплавляется. Обжиг производят в печах сопротивления, где заранее создают требуемую т-ру, или с помощью *индукционного нагрева*. Т-ра обжига зависит от состава покрытия и т-ры плавления покрываемого материала, а его продолжительность, определяемая экспериментально, — от размеров и формы изделия. При всех условиях т-ра обжига должна быть на 200—500° С ниже т-ры плавления покрываемого металла. Шли-

керным способом чаще всего наносят стеклокерамические и керамико-металлические покрытия. Для получения топкослойных покрытий наплавлением вместо водных суспензий используют истинные растворы таких водорастворимых соединений, к-рые при нагревании распадаются с образованием летучих и твердых составляющих. Высокодисперсная твердая фаза отлагается на поверхности изделия и после термообработки образует *защитное покрытие*. Газопламенным напылением (см. *Газопламенные покрытия*) наносят покрытия, компоненты к-рых имеют т-ру плавления ниже 1800°C и плавятся в пламени кислородно-ацетиленовой горелки без разложения и возгонки. Окислы Al_2O_3 , ZrO_2 , $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и др. наносят с помощью пистолета-распылителя. Плазменное напыление (см. *Плазменные покрытия*) имеет перед газопламенным то преимущество, что сверхвысокие т-ры плазменного потока и отсутствие в нем кислорода позволяют расплавлять и наносить на поверхность изделия любые материалы независимо от их т-ры плавления; при этом разложения материала покрытия и окисления поверхности изделия не происходит. Получение К. п. осаждением из газовой фазы основано на тепловом разложении летучих соединений тех металлов, окислы к-рых образуют компоненты покрытия. Процесс ведется в смеси газообразных хлоридов и двуокиси углерода при наличии газа-переносчика (чаще всего H_2):

$$2\text{AlCl}_3 + \text{SiCl}_4 + 5\text{H}_2 + 5\text{CO}_2 \xrightarrow{600^{\circ}} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 + 10\text{HCl} + 5\text{CO}.$$

Осн. преимущество этого способа — возможность получения покрытий из *тугоплавких соединений* при низкой т-ре, а протекание реакций на поверхности позволяет покрывать изделия любой формы. Погружением изделия в ванну с одним или несколькими жидкими легкоплавкими металлами (чаще всего алюминием, магнием, кремнием) получают, напр., покрытия из окислов $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. Для этого изделие погружают на 10—60 сек в нагретую до т-ры 1000—1300° С ванну с 75% Al и 25% Si,

затем оно проходит окислительную обработку и на его поверхности образуется муллитсодержащее покрытие. Подавляющее большинство К. п. обладают высокой *огнеупорностью*, однако они хрупки, пористы, недостаточно прочно сцепляются с покрываемыми поверхностями и весьма чувствительны к тепловым и мех. ударам. *Пористость* снижает защитные св-ва покрытий в агрессивных газовых и жидких средах, а также в расплавах. Она ниже у стеклокерамических и керамико-металлических покрытий, к-рые при т-ре размягчения связи становятся достаточно пластичными и менее чувствительными к тепловым и мех. ударам. Изменяя вид и количество тугоплавких окислов в стеклокерамических покрытиях, получают защитные слои, обладающие высокой *жаростойкостью*, хим. стойкостью, ударной прочностью, термостойкостью, электрическим сопротивлением и др. К. п. наносят на стали и чугуны, сплавы на основе тугоплавких металлов, на графит и углеграфитовые материалы. Такие покрытия применяют в атомной энергетике, хим. технологии, авиа-, ракето- и машиностроении. См. также *Керамические материалы*, *Стеклокерамические материалы*.

Лит.: Борисенко А. П. Защита молибдена от высокотемпературной газовой коррозии. М.—Л., 1960; Аллен А. А. Температуростойчивые неорганические покрытия. Л., 1967.

А. Я. Ситникова.

КЕРАМИЧЕСКОЕ ЯДЕРНОЕ ГОРЮЧЕЕ — горючее на основе тугоплавких соединений урана, плутония или тория с другими элементами, выделяющее энергию в результате цепной ядерной реакции деления. К К. я. г. относятся *окислы, карбиды, нитриды, сульфиды, силициды и фосфиды* урана, плутония и тория. В энергетических ядерных реакторах чаще всего используют двуокись урана (UO_2), к-рая отличается высокой т-рой плавления (около 2800°C), при высоких т-рах не реагирует с цирконием, ниобием, *нержавеющей сталью* и др. материалами, очень слабо взаимодействует с горячей водой. Плотное спеченная двуокись урана довольно прочно удерживает осколки деления урановых ядер, лишь незначительно увеличи-

ваясь в размерах (распухая), что способствует более полному выгоранию горючего. Подобное обстоятельство особенно важно для бриднерных реакторов-размножителей на быстрых нейтронах. Осн. недостаток двуокиси урана — низкая *теплопроводность*, приводящая к снижению стойкости к термическим напряжениям. Перспективны также двуокиси плутония и тория (т-ры плавления соответственно 2300 и 3000° С). Двуокиси урана, плутония и тория изоморфны (см. *Изоморфизм*) и образуют друг с другом *твердые растворы*. Твердые растворы двуокисей урана и плутония используют в реакторах как на тепловых (до 5% PuO₂), так и на быстрых нейтронах (10—25% PuO₂). По сравнению с двуокисью урана облученное горючее из двуокиси урана и плутония менее склонно к растрескиванию, в нем не происходит радиальной миграции плутония, несмотря на интенсивную *рекристаллизацию* и рост зерна, но наблюдается значительная миграция летучих осколков деления — цезия и рутения. Для получения изотопа ²³³U, делящегося под действием тепловых нейтронов, применяют горючее на основе твердого раствора двуокисей урана и тория. Лучшими св-вами обладает горючее на основе смеси двуокисей делящихся элементов (урана, плутония и тория) с другими тугоплавкими окислами-разбавителями (BeO, MgO, Al₂O₃, Y₂O₃, La₂O₃, ZrO₂, Nb₂O₅ и др.). Двуокиси ZrO₂ — PuO₂ используют в зоне выгорания, а MgO — PuO₂ — горючее в запальных тепловыделяющих элементах (ТВЭЛх). Смеси окислов BeO — UO₂, а также Al₂O₃ — UO₂ хорошо удерживают газообразные продукты деления (криптон, ксенон, йод) внутри керамического материала. При облучении двуокиси урана, диспергированной в матрице из окиси бериллия (BeO + 51% UO₂), в керамике возникают замкнутые поры сферической формы, причем среднее распухание горючего невелико (~ 1% на 10²⁰ делений на 1 см³). В ТВЭЛх некоторых видов горючее применяют в виде сферических частиц с противоосколочными покрытиями. Для покрытия двуокисей урана и плутония применяют BeO, Al₂O₃, ZrO₂ и др. У карбидного горючего по сравнению с

окисным более высокая плотность делящихся ядер и лучшая теплопроводность. Карбиды урана и плутония — UC, PuC, (U, Pu)C — обладают высокой *радиационной стойкостью*. Карбиды PuC и (U, Pu)C можно успешно облучать до весьма высоких выгораний (~ 9 · 10²⁰ делений на 1 см³) при макс. т-ре в центральной части ТВЭЛа до 1300° С. В спеченных карбидах (U, Pu)C трещины при облучении нейтронами, как правило, не образуются. Карбиды урана и плутония достехиометрического и стехиометрического состава (U, Pu) C_x (где $x \leq 1$, напр. U_{0,8}Pu_{0,2}C_{0,95} и U_{0,85}Pu_{0,15}C) хорошо совместимы со многими материалами оболочек ТВЭЛов. Такие карбиды не реагируют при высокой т-ре с хромоникелевой и хромомолибденовой сталями, ванадием, ниобием и сплавом Nb + 1% Zr. Карбиды урана и плутония используют в реакторах на быстрых нейтронах с воспроизводством горючего с жидкометаллическим теплоносителем. Для высокотемпературных бриднерных реакторов-размножителей представляют интерес и смеси карбидов: PuC — ZrC, PuC — TaC, PuC — WC и др. В качестве противоосколочных покрытий карбидного горючего применяют пиролизный углерод, карбиды SiC, ZrC, NbC, а также их многослойные комбинации. К. я. г. служат и смешанные карбосилициды, в частности U₃C₂Si₃. Нитридное горючее, как и карбидное, обладает большой теплопроводностью и высокой плотностью делящихся ядер, не взаимодействует при высокой т-ре с ниобием, танталом, молибденом, вольфрамом, а также с жидким натрием и калием. У нитридов PuN и (U, Pu)N удовлетворительная радиационная стойкость. Для получения двуокисей урана и плутония прибегают к прокаливанию нерастворимых солей или гидроокисей, осаждаемых из растворов нитратов. Кроме мех. смешивания, твердые растворы двуокисей урана и плутония получают соосаждением из раствора нитратов с последующим прокаливанием. Затем из образовавшихся порошков

прессуют таблетки, которые после этого спекают при t -ре 1500—1700° С в восстановительной либо инертной газовой среде или в вакууме. Спекание в окислительной газовой среде (в воздухе) недопустимо из-за образования высших окислов урана (U_4O_9 , U_3O_8 , UO_3), что приводит к увеличению объема изделия и его разрушению в порошок. Плотность спеченного керамического материала из соосажденных порошков двуокисей урана и плутония, содержащих 0—35% PuO_2 , достигает 93—98% от теоретической. После шлифования спеченные таблетки загружают в металлические оболочки ТВЭЛов. Горючее на основе растворов карбидов (U, Pu) С получают, восстанавливая углеродом смеси и твердые растворы двуокисей урана и плутония в вакууме или среде гелия при t -ре соответственно 1450 и 1625° С, а также др. методами. Смешанные уранплутониевые карбиды спекают в среде аргона или гелия при t -ре 1500—1600° С. В качестве добавки, ускоряющей спекание, чаще всего применяют порошкообразный никель (0,1—0,2%). Плотность полученного керамического материала обычно составляет более 95% от теоретической. Для получения нитридного горючего на основе (U, Pu) N сплав урана и плутония гидрируют, смешанный гидрид нагревают в струе азота, а затем полученный твердый раствор нитридов урана и плутония прокаливают в вакууме. К. я. г. получают также методом горячего прессования. Оболочки ТВЭЛов заполняют и порошкообразным горючим, к-рое уплотняют ротационным обжатием или вибрацией. Вибрационный способ чаще всего применяют для загрузки ТВЭЛов сложной геометрической формы. Виброуплотненный ТВЭЛ действует почти так же, как и ТВЭЛ, заполненный спеченными таблетками. См. также *Керамические материалы, Ядерное горючее*.

Лит.: Конобеевский С. Т. Действие облучения на материалы. М., 1967; Котельников Р. Б. (и др.). Высокотемпературное ядерное топливо. М., 1969; Ластман Б. Радиационные явления в двуокиси урана. Пер. с англ. М., 1964;

КЕРМЕТЫ — то же, что и *керамико-металлические материалы*.

КЕРОСИНО-МЕЛОВОЙ МЕТОД ДЕФЕКТОСКОПИИ — метод *дефектоскопии*, основанный на использовании керосина и меловой суспензии; разновидность *капиллярной дефектоскопии*. Применяется со второй половины 18 в. В К.-м. м. д. керосин служит индикаторной жидкостью (пенетрантом), проникающей в дефекты, к-рые выходят на поверхность контролируемых изделий. Его использование обусловливается неполярностью, способностью хорошо смачивать поверхности и растворять обычно покрывающие их жировые пленки, сравнительно низкой вязкостью, оптимальным *поверхностным натяжением*. К тому же керосин не способствует *коррозии металлов*. Водно-меловая или спирто-водно-меловая суспензия служит проявляющим веществом, сорбирующим (см. *Сорбция*) керосин в местах дефектов (неплотностей) исследуемой поверхности, с образованием на ней индикаторных следов, по к-рым и фиксируют дефекты. При одностороннем доступе к исследуемой поверхности контроль осуществляют в такой последовательности: очищают поверхность от загрязнений с обезжириванием ее, наносят на поверхность керосин (смачиванием, опрыскиванием или погружением в него), удаляют (спустя 10—15 мин) керосин с поверхности и наносят на нее меловую суспензию. При контроле герметичности сторону поверхности, удобную для осмотра, покрывают тонким слоем суспензии, а после ее высыхания на противоположную сторону наносят керосин. Миним. размеры обнаруживаемых дефектов: ширина раскрытия трещин до 1 $\mu\text{м}$, диаметр пор 2—5 $\mu\text{м}$. К.-м. м. д. предельно прост, высокочувствителен, не требует какой-либо аппаратуры, электр. энергии, выполнен в полевых условиях. С его помощью выявляют сквозные (преимущественно) и несквозные (но выходящие на поверхность) неплотности: *трещины, поры, непровары* и др.

Лит.: Паллер А. М., Соколов В. Ф. Непроницаемость и герметичность металлических судов. Л., 1967; Трущен-

КИАНИТ (от греч. *κίανος* — темносиний, лазоревый), $\text{Al}_2\text{O} [\text{SiO}_4]$ — минерал класса *силикатов*. Синоним: *диэстён*. Хим. состав (%): Al_2O_3 — 63,4; SiO_2 — 36,9. Обычно содержит примеси Fe_2O_3 — до 1—2% (иногда до 7%), Cr_2O_3 — до 1,8%, незначительное количество CaO , MgO , FeO и TiO_2 . Структура островная, сингония триклинная, вид симметрии пинакоидальный. Встречается в виде лучистых и жилковидных агрегатов, реже — столбчатых и дисковидных кристаллов. Двойники наблюдаются очень часто по {100}. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по {100}, хорошая по {010}. Плотность 3,53—3,65 г/см³. Твердость (неодинакова в различных направлениях) 4,5—7,0. Цвет (см. *Цвет минералов*) голубой, синий, иногда зеленый, желтый; реже бесцветный. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. В шлифах бесцветный до бледно-голубого. Плеохроизм слабый, по N_p — бесцветный, по N_m — фиолетово-голубой, по N_g — кобальтово-синий. Двухосный, отрицательный; $2V = 82$ — 83° . Показатели преломления: $n_g = 1,728$ — $1,729$; $n_m = 1,722$; $n_p = 1,713$ — $1,717$; $n_g - n_p = 0,012$ — $0,016$. Минерал метаморфических пород. Встречается в *гнейсах* и *сланцах*, являющихся продуктами регионального метаморфизма. Известен также в месторождениях *наждака*, где образуется в результате метаморфизма бокситов. К. получают из смеси глинозема и кремнезема при t -ре 900°C и давлении 20 000 ат. В процессе обжига при высокой t -ре кианит разлагается с образованием *муллита* спутанноволокнистой структуры и кристобалитового стекла, отличающихся высокими *огнеупорностью*, *кислотостойкостью* и *щелочестойкостью*. Используется как высокоглиноземистый *огнеупорный материал* в металлургии и керамическом произ-ве, для выплавки *силумина*. К. — перспективное сырье для получения *алюминия*.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зус-

ман Дж. Породообразующие минералы, т. 2. Пер. с англ. М., 1965.

В. И. Горошников.

КИЗЕРИТ [по имени нем. ученого Д. Кизера (D. Kieser)], $\text{Mg} [\text{SO}_4] \times \text{H}_2\text{O}$ — минерал класса *сульфатов*. Хим. состав (%): MgO — 29,0; SO_3 — 58,0; H_2O — 13,0. Структура островная, сингония моноклинная, вид симметрии призматический. К. обычно образует сплошные зернистые массы. Кристаллы изометрического облика с наиболее развитыми гранями {111}, {011}, {110}, $\{\bar{1}\bar{1}1\}$, $\{\bar{1}01\}$, с характерным для них приблизительно одинаковым развитием форм {111}, {111}, в результате чего они имеют псевдобипирамидальный габитус. В шлифах из мелкозернистых агрегатов часто обнаруживается двойниковое строение зерен, реже отмечаются полисинтетические двойники. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по {110} и {111}. Плотность 2,57 г/см³. Твердость 3,5. Хрупкий. Серовато-белый или желтоватый минерал (см. *Цвет минералов*), редко бывает бесцветен и прозрачен. Блеск стеклянный (см. *Блеск минералов*). Двухосный, положительный; $2V = 57^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,584$; $n_m = 1,533$; $n_p = 1,520$; $n_g - n_p = 0,064$. Порошок К., смоченный водой, затвердевает подобно *гипсу*. Во влажном воздухе постепен переходит в *эпсомит*. К. — типичный минерал соляных месторождений, но очень редко образуется в соляных озерах, поскольку поле его образования ограничено: К. выпадает из сложных водных растворов при достаточном насыщении их солями магния и при t -ре выше 18°C . В других случаях осаждается эпсомит или гексагидрит. Обычно К. образуется при дегидратации этих минералов под действием t -ры и давления. К. получают нагреванием эпсомита до t -ры выше 220°C . Используют К. для получения магния и магниевых солей.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К., Габинет М. П., Сливко О. П. Минералогия осадочных утворень Прикарпаття. Львів, 1962; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971.

А. А. Кульчицкая.

КИНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА (греч. *κίνησις* — движущий) — методы *химического анализа*, основанные на связи скорости хим. реакции с концентрацией реагирующих веществ. Название к а т а л и т и ч е с к и е м е т о д ы а н а л и з а употребляют при определении по скорости хим. реакции концентрации катализирующих эту реакцию веществ. К. м. а. начали применять в середине 20 в. в СССР. Реакция, скорость к-рой определяется кинетическими методами, и вещество, по изменению концентрации к-рого определяют скорость этой реакции, наз. индикаторными. Связь скорости индикаторной реакции с концентрацией реагирующих веществ выражается кинетическим ур-нием вида

$$\frac{dx}{dt} = K P_C C,$$

где $\frac{dx}{dt}$ — скорость реакции; K — константа скорости; C — концентрация определяемого вещества, напр. катализатора; P_C — функция от концентрации остальных реагирующих веществ. Это ур-ние лежит в основе дифференциального варианта К. м. а.

Концентрацию определяемого вещества можно установить из кинетического ур-ния или с помощью калибровочных графиков — графиков зависимости искомой концентрации от скорости индикаторной реакции (метод тангенсов), или от концентрации индикаторного вещества к определенному моменту времени от начала реакции (метод фиксированного времени), или от времени достижения постоянства концентрации индикаторного вещества (метод фиксированной концентрации). Аналогичные методы определения концентрации применяют и в интегральном варианте К. м. а., в основе к-рого лежит интегральная форма кинетического ур-ния. Индикаторные реакции К. м. а. различны. Наиболее широко используются окислительно-восстановительные реакции, реакции внутрисферного замещения в комплексных соединениях, реакции превращения органических веществ, энзиматические реакции. В качестве индикаторных применяют также реакции изотопного обмена и гетерогеннокаталитические реакции. В зависимости от природы индикаторной реакции выбирают метод измерения ее скорости: титриметрический, газовольметрический, электрохимический, оптический и др. Чувствительность оптических, в частности каталитических,

Наибольшая чувствительность определения химических элементов кинетическими методами анализа

Определяемый хим. элемент	Чувствительность, г/мл	Определяемый хим. элемент	Чувствительность, г/мл	Определяемый хим. элемент	Чувствительность, г/мл	Определяемый хим. элемент	Чувствительность, г/мл
Бериллий	10 ⁻⁷	Железо	10 ⁻¹⁰	Молибден	10 ⁻¹⁰	Вольфрам	10 ⁻⁹
Фтор	10 ⁻⁷	Кобальт	10 ⁻¹²	Рутений	10 ⁻¹²	Рений	10 ⁻⁹
Алюминий	10 ⁻⁶	Никель	10 ⁻⁹	Родий	10 ⁻¹²	Осмий	10 ⁻¹²
Кремний	10 ⁻⁵	Медь	10 ⁻⁹	Палладий	10 ⁻⁹	Иридий	10 ⁻¹¹
Фосфор	10 ⁻⁸	Цинк	10 ⁻⁷	Серебро	10 ⁻¹⁰	Платина	10 ⁻⁷
Сера	10 ⁻¹⁰	Германий	10 ⁻⁷	Кадмий	10 ⁻⁶	Золото	10 ⁻⁸
Кальций	10 ⁻⁶	Мышьяк	10 ⁻⁷	Сурьма	10 ⁻⁸	Ртуть	10 ⁻⁹
Титан	10 ⁻⁷	Селен	10 ⁻⁷	Теллур	10 ⁻¹⁰	Свинец	10 ⁻⁸
Ванадий	10 ⁻¹⁰	Бром	10 ⁻⁸	Йод	10 ⁻¹⁰	Торий	10 ⁻⁷
Хром	10 ⁻⁹	Цирконий	10 ⁻⁷	Гафний	10 ⁻⁷	Уран	10 ⁻⁹
Марганец	10 ⁻¹⁰	Ниобий	10 ⁻⁷	Тантал	10 ⁻⁷	—	—

методов анализа довольно высока (на уровне чувствительности *активационного анализа*, иногда превышает ее), поскольку одна молекула катализатора может принимать участие во многих циклах индикаторной реакции. Теоретический предел чувствительности достигает 10^{-17} г/мл, практически чувствительность методов составляет $10^{-10} \div 10^{-14}$ г/мл. Поскольку каталитическими св-вами в данной реакции обычно обладает ограниченное число веществ, избирательность методов вполне удовлетворительна. Аппаратура К. м. а. несложна и зависит от выбора индикаторной реакции. Если все условия соблюдены, проведение анализа с использованием кинетических методов не требует больших затрат времени. К. м. а. высокоэффективны для определения ультрамикропримесей в материалах, напр. до 10^{-11} г кобальта в полупроводниках, до 10^{-9} г золота в морской воде, до 10^{-10} г припая в рудах, содержащих платиновые металлы, и др. Разработаны К. м. а. высокой чувствительности для определения более 40 элементов (табл.). Большинство из них определяют по нескольким методикам.

Лит.: Яцимирский К. Б. Кинетические методы анализа. М., 1967; Яцимирский К. Б., Тихонова Л. П. Катализ в аналитической химии. М., 1970; Марк Г., Рехниц Г. Кинетика в аналитической химии. Пер. с англ. М., 1972.

Л. П. Тихонова, К. Б. Яцимирский.

КИНОВАРЬ (греч. *κιννάβαρι*) — минеральная краска, представляющая собой сульфид ртути (циннабарит) или сурьмы (сурьмяная киноварь). Различают К. природную и синтетическую. Природная К. (сульфид ртути) встречается в виде кристаллов, зернистых агрегатов и порошкообразных масс. Осаждается из щелочных эпитеальных водных растворов вместе с сульфидами сурьмы, мышьяка и железа, а также нерудными минералами (*кальцитом, кварцем* и др.). Кристаллы мелкие толсто таблитчатые или ромбоэдрические, сингония тригональная, кристаллическая решетка гексагональная. Цвет красный, яркий, блеск алмазный. Отличается высокой светостойкостью и кислотостойкостью,

растворяется в «царской водке», в смеси соляной к-ты с перекисью водорода и в сернистом калии. Плотность $8,1-8,2$ г/см³. Твердость по Моосу $2-2,5$. При прокаливании на воздухе темнеет и при т-ре 400°C переходит в кубическую модификацию черного цвета — ртутную чернь (метациннабарит), затем загорается, превращаясь в пары ртути и сернистый газ. Если воздуха нет, при т-ре 200°C начинает испаряться, а при т-ре 440°C полностью диссоциирует на ртуть и серу; при охлаждении из этих паров кристаллизуется красная краска. Природную К. извлекают из руд, очищают от примесей и измельчают до размеров частиц от 2 до 20 мкм. Синтетическая К. (сульфид ртути) отличается высокой укрупненностью (кроющей способностью) и ярким цветом — от желтоватого до синева-красного. Разнообразие оттенков регулируется т-рой процесса получения и тониной помола. Частицы размером $2-5$ мкм — светлых тонов, размером $5-20$ мкм — темных. Из-за наличия примесей синтетическая К. менее светостойка по сравнению с природной и со временем темнеет. Получают ее по сухому способу смешиванием ртути с измельченной или расплавленной серой до образования черной сернистой ртути, к-рую переводят в красную возгонкой при отсутствии воздуха. По мокрому способу ртуть обрабатывают раствором полисульфида щелочного металла, получая красную краску. Сурьмяная К. представляет собой смесь сернистых соединений или сероокиси сурьмы. По сухому способу нагреванием измельченного стибнита Sb_2S_3 в закрытом сосуде и пропусканием потока сернистого газа SO_2 или сероводорода H_2S (либо их смеси) получают смесь сернистых соединений сурьмы Sb_2S_3 , Sb_2S_4 и Sb_2S_5 . По мокрому способу тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ обрабатывают раствором треххлористой сурьмы SbCl_3 . В процессе обработки при т-ре $30-35^\circ\text{C}$ образуется желтый осадок, к-рый с повышением т-ры до $50-60^\circ\text{C}$ приобретает ярко-красную окраску. Осадок промывают, фильтруют и сушат. Изменяя т-ру и

концентрацию исходных материалов, получают гамму оттенков от оранжевого до красного. Сурьмяная К. отличается высокой укрывистостью и интенсивностью (способностью передавать свой цвет смесям красок), светостойка, однако при нагревании чернеет. Растворяется в разбавленных кислотах. Природную К. используют для приготовления художественных красок (акварельных, масляных), пигментации каучука для зубных протезов и в качестве сырья для получения ртути, сурьмяную К. — для окрашивания каучука.

Лит.: Минералы СССР, т. 2. М.—Л., 1940; Бетехтин А. Г. Минералогия. М., 1950; Веленький Е. Ф., Рискин И. В. Химия и технология пигментов. Л., 1974; Шампетье Г., Рабаттэ Г. Химия лаков, красок и пигментов, т. 2. Пер. с франц. М., 1962.

П. Г. Вербицкий.

КИПЯЩАЯ СТАЛЬ — сталь, частично раскисленная марганцем и алюминием. Используется с 70-х гг. 19 в. При затвердевании в стали развивается реакция самораскисления вследствие взаимодействия углерода и остаточного кислорода с выделением большого количества газа (преим. окиси углерода), что приводит к «кипению» металла в изложнице. Во время выделения газа в слитке образуются сотовые пузыри (в корковой зоне на глубине 10—30 мм, распространяющиеся на 1/2 — 2/3 высоты слитка от нижней части) и пузыри сердцевинные (внутри слитка, преим. в головной части). Газовые пузыри устраняют концентрированную усадочную раковину и при прокатке завариваются, что уменьшает потери металла с головной обрезью (4—7% по сравнению с 8—18% у спокойной стали). Сравнительно небольшие отходы при прокатке (7—10%) и малый расход раскислителей обуславливают низкую себестоимость стали. Отсутствие в ней кремния и малое содержание углерода и неметаллических включений в корковой зоне слитка обеспечивают высокую пластичность и свариваемость. К. с. отличается от спокойной стали значительно большей ликвацией и склонностью к старению. Для уменьшения ликвации применяют хим. или мех. закупоривание слитка. Склонность к ста-

рению уменьшают легированием сурьмой (0,2—0,4%) или раскислением алюминием. Из К. с. изготавливают в основном горячие и холоднокатаные листы, а также сортовые и фасонные прокатные изделия (швеллеры, балки, уголки, прутки). Ее используют в трактор-, авто- и машиностроении для изготовления штампованных изделий, арматуры и металлоконструкций.

Лит.: Ойкс Г. Н. Производство кипящей стали. М., 1955; Терещенко М. О., Шувчинский Б. М. Підвищення якості та розширення асортименту металопродукції. К., 1971; Металлургия стали. М., 1973. В. П. Осипов.

КИСЛОРОД (Oxygenium), O — хим. элемент VI группы периодической системы элементов; ат. н. 8, ат. м. 15,9994. В норм. условиях — газ без цвета, запаха и вкуса. При образовании большинства соединений приобретает электроны. В окислах (напр., H_2O , Li_2O , CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , SO_3 , Cl_2O_7), кислородных к-тах и их солях К. проявляет формально степень окисления — 2, в пероксосоединениях (H_2O_2 , Na_2O_2 , Ba_2O_2) есть кислородный перекисный мостик — $O^- - O^-$ — с межъядерным расстоянием 1,48 Å, в надперекисях (KO_2 , RbO_2 , CsO_2) содержится группа O_2^- с межъядерным расстоянием 1,26 Å, в озонидах (KO_3 , RbO_3 , CsO_3) — парамагнитный анион O_3^- . Только в соединениях с фтором (F_2O , F_2O_2) и в солях диоксигенил-катиона, напр. гексафтороплатинате (+ 5) диоксигенила $O_2^+[PtF_6]$, К. проявляет степень окисления + 1. Природный К. состоит из стабильных изотопов ^{16}O (99,759%), ^{17}O (0,037%) и ^{18}O (0,204%); получены радиоактивные изотопы ^{14}O , ^{15}O и ^{19}O с периодами полураспада соответственно 72,1 сек, 2,1 мин и 29,4 сек. Открыли К. швед. химик К. В. Шееле — в 1771 (работы его опубликованы в 1777) и независимо от него англ. ученый Дж. Пристли — в 1774. Франц. химик А. Л. Лавуазье повторил опыты Дж. Пристли (термическое разложение окиси ртути), дал элементу название и в 1777 создал кислородную теорию горения, дыхания и окисления. К. — самый распространенный в земной коре элемент: содержание его составляет 47,0% по массе, или

55 ат.%. В форме газа O_2 в воздухе находится $1,2 \cdot 10^{15}$ т К., что составляет 20,95 об.%, или 23% по массе. В нижних слоях стратосферы содержится очень небольшое количество озона O_3 , образующегося под действием ультрафиолетового излучения Солнца, а выше 80 км — атомы К., образующиеся вследствие распада молекул O_2 , O_3 и водяного пара под действием коротковолнового излучения. К. в воде — 88,8%, в водах мирового океана — 85,7%; в природных водах растворено около $1,5 \cdot 10^{13}$ т К. Из минералов, содержащих К. (их около 1400), наиболее распространены кварц и его модификации (53% К.), полевые шпаты, слюды и известняки (45—48%), окислы железа (28—43%), гипс и глины (около 55%). К. образует два простых вещества: К.-газ и озон O_3 . При высоких давлениях возможно образование молекул O_4 . К. — трудно сжижающийся газ. Осн. термодинамические параметры — критическая точка: т-ра 154,8 К (—118,4°С); давление 50,14 ат; плотность 0,406 г/см³; тройная точка: температура 54,36 К (—218,8°С); давление $1,54 \cdot 10^{-3}$ ат. Т-ра кипения 90,18 К (—182,97°С) при давлении 760 мм рт. ст., теплота испарения 51,0 ккал/кг; плотность жидкого К. (т-ра 90,18 К) 1,142 г/см³. Т-ра плавления 54,36 К (—218,8°С); теплота плавления 3,3 ккал/кг. Кристаллич. модификации: кубическая, устойчивая выше т-ры 43,77 К (—229,4°С), с плотностью 1,27 г/см³ при т-ре —219°С; гексагональная, устойчивая от 23,85 К (—249,3°С) до 43,77 К, и ромбическая, устойчивая при т-ре ниже 23,85 К, с плотностью 1,426 г/см³. Жидкий К. — светлоголубого цвета, притягивается магнитом; твердый К. — синие кристаллы. Во всех агрегатных состояниях парамагнитен. Диэлектрическая постоянная газа — 1,000507, жидкого К. — 1,491. Масса 1 л газа при т-ре 0°С и давлении 1 ат равна 1,42897 г/л; коэфф. теплопроводности $58,3 \cdot 10^{-6}$ кал/сек.см.град; теплоемкость $c_p = 6,99$ и $c_v = 4,98$ кал/моль.град; $c_p/c_v = 1,403$. Растворимость К. в воде (в 100 см³) при т-ре 0°С составляет 4,9 см³, при т-ре 20°С равна 3,1 см³. К. хорошо растворяется в органических веществах

(напр., его растворимость при т-ре 20°С и давлении 1 ат в 100 г ацетона составляет 23,1 см³, в 100 г бензина — 17,8, в 100 г эфира диэтилового — 45,1 см³). Хорошо растворим К. в расплавленном серебре (около 5,5 см³ в 100 г серебра при т-ре 960°С и давлении 1 ат) и почти полностью выделяется при охлаждении и затвердевании расплава, разбрызгивая металл; хорошо поглощается также тонкими порошками металлов и угля. Молекула O_2 очень прочна (межъядерное расстояние 1,207 Å), распад ее на атомы начинается выше т-ры 1500°С и становится полным при т-ре 5000°С. Энергия атомизации $D_{298} = 119,12$ ккал/моль. Под действием ультрафиолетового излучения ($\lambda = 190$ нм) легко осуществляется фотолиз кислорода. Перем. степень окисления К., способность к принятию электронов от атомов др. элементов (сродство к электрону 1,47 эв/атом) и возможность отдачи своего электрона (1-й потенциал ионизации — 13,6 в, электроотрицательность по шкале Полинга 3,5) обуславливают возможность образования твердых растворов в металлах и различного рода стехиометрических и нестехиометрических соединений. К. образует соединения со всеми элементами, кроме гелия, неона и аргона. На основе типов и св-в кислородных соединений строится классификация неорганических соединений. Увеличение содержания К. в молекуле окисла усиливает кислотный характер этого окисла, напр. MnO проявляет основные св-ва, а Mn_2O_7 является ангидридом марганцевой (перманганатной) кислоты $HMnO_4$. При обычных условиях взаимодействия с К. веществ, способных его присоединять, протекает в большинстве случаев медленно; при нагревании, под действием тихого или искрового электр. разряда, под давлением и при наличии катализатора скорость реакции значительно возрастает. Катализатором для очень многих реакций с К. является вода; абсолютно сухой К. при комнатной т-ре не взаимодействует с металлическим калием, с белым фосфором. Большинство реакций К. с различными

веществами экзотермичны; некоторые из них используются для получения энергии в форме тепла и света (горение); в процессе сжигания угля, различных углеводородов, древесины, торфа и др. В смеси с горючими газами и парами, с тонкими порошками мн. металлов и органических веществ К.-газ образует взрывчатые смеси. К. непосредственно реагирует почти со всеми простыми веществами за исключением галогенов, инертных газов, платины и золота, соединения с к-рыми получаются косвенным путем. В лабораторных условиях К. получают термическим разложением окислов (напр., CrO_3), перекисей (напр., BaO_2), солей кислотородных кислот (напр., KMnO_4), каталитическим разложением H_2O_2 , электролизом 30%-ного раствора калия гидроокиси с никелевыми электродами. В пром-сти К. получают фракционированной перегонкой жидкого воздуха, а также как побочный продукт при получении водорода электролизом воды. К. можно получать также из воздуха избирательной диффузией при повышенном давлении через пластмассовые мембраны (молекулярные сита). Выпускают К. как газ технический, технологический, медицинский и жидкий технический. Газообразный технический К. первого сорта содержит O_2 не менее 99,7%, второго сорта — не менее 99,5%, третьего сорта — не менее 99,2%, технологический — не менее 95—98,5%, медицинский — не менее 99,5%. Медицинский К. не должен содержать воды, масла, окиси углерода, ацетилена, газообразных оснований и к-т, озона и др. газов-окислителей. Допускается наличие двуокиси углерода (смесь К. с 5—7% CO_2 наз. «карбоген»). Из 1 кг жидкого К. образуется 0,75 м³ газа, из 1 л — 0,86 м³. К. применяется в черной и цветной металлургии, хим. пром-сти, машиностроении, энергетике и др. областях для получения высоких т-р (порядка 2500—3000° С) и для интенсификации технологических процессов. Замена воздуха кислородом снижает расход топлива и увеличивает производительность доменных и мартеновских печей, вагранок,

конверторов, электр. печей на 25—30% и более, повышает качество выплавляемого металла. На выплавку 1 т чугуна расходуется К. около 1000 м³, на 1 т конверторной стали — около 80, на 1 т мартеновской стали — 15—25 м³. В цветной металлургии на 1 т металла расходуется 10 000—30 000 м³ К. Большое количество К. используют для автогенной сварки и резки, для газификации твердого топлива в кипящем слое, для огневого бурения твердых горных пород и др. Жидкий К. — основа мощных взрывчатых веществ — оксидквитов (пропитанных жидким К. пористых горючих материалов, напр. древесных опилок); применяется в ракетных двигателях.

Лит.: Кислород. Справочник, т. 1—2, М., 1967—73; Глизианенко Д. Л. Получение кислорода. М., 1972; Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М., 1972; Иванов В. А. Безопасность применения материалов в контакте с кислородом. М., 1974; Ремиз Г. Курс неорганической химии, т. 1. Пер. с нем. М., 1972. В. Л. Павлов.

КИСЛОТОСТОЙКАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся *кислотостойкостью*; вид *коррозионностойкой стали*. Характер *легирования* и количество легирующих элементов определяют структуру и класс К. с.: ферритный, аустенитоферритный и аустенитный (табл. 1). К. с. отличается высокой *коррозионной стойкостью*, к-рая зависит от пассивности металлов, проявляющейся при воздействии окислителей, напр. азотной кислоты, вследствие чего на поверхности стали образуется тонкая (несколько десятков ангстрем) пленка *окислов*, защищающая металл от дальнейшего воздействия агрессивной среды. Наиболее сплывный пассивирующий элемент — хром, которого содержится в стали не менее 16%. Никель увеличивает стойкость стали в растворах восстановительных кислот (серной, соляной) и в некоторых органических кислотах, повышая электродный потенциал. Молибден также повышает коррозионную стойкость стали в разбавленных растворах серной, соляной, фосфорной, сернистой, муравьиной, уксусной и др. кислот. Титан и ниобий в стали аустенитного класса устраняют восприимчивость к *межкристаллитной коррозии*, образуя карбиды и устра-

ания тем самым возможным образованием карбидов хрома. Титан вводят в количестве, превышающем не менее чем в пять раз, а ниобий — в количестве, превышающем в десять раз содержание углерода. В К. с., от к-рой требуется повышенная стойкость к межкристаллитной и поже-

вой коррозии, количество углерода ограничивают (до 0,03%). Для улучшения мех. св-в сталь подвергают термической обработке (табл. 2). Выплавляют К. с. в основном в

Таблица 1. Химический состав кислотостойких сталей

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	S	P
	не более							не более	
Стали ферритного класса									
12X17	0,12	0,8	0,8	16,0—18,0	—	—	—	0,025	0,035
08X17T	0,12	0,8	0,8	16,0—18,0	—	5C—0,80	—	0,025	0,035
15X25T	0,15	1,0	0,8	24,0—27,0	—	5C—0,90	—	0,025	0,035
15X28	0,15	1,0	0,8	27,0—30,0	—	—	—	0,025	0,035
Стали аустенитоферритного класса									
08X21H6M2T	0,08	0,8	0,8	20,0—22,0	5,5—6,5	0,20—0,40	1,8—2,5	0,025	0,035
Стали аустенитного класса									
08X18H10T	0,08	0,8	2,0	17,0—19,0	9,0—11,0	5C—0,7	—	0,020	0,035
04X18H10	0,04	0,8	2,0	17,0—19,0	9,0—11,0	—	—	0,020	0,035
10X17H13M2T	0,10	0,8	2,0	16,0—18,0	12,0—14,0	5C—0,7	2,0—3,0	0,020	0,035
03X21H21M4ГБ	0,03	0,6	1,8—2,5	20,0—22,0	20,0—22,0	—	3,4—3,7	0,020	0,030
06XH28MДТ	0,06	0,8	0,8	22,0—25,0	26,0—29,0	0,5—0,9	2,5—3,0	0,020	0,035

Примечание: В стали марки 03X21H21M4ГБ содержится ниобий, рассчитываемый по формуле $Nb = 15C - 0,8$; в стали марки 06XH28MДТ содержится 2,5—3,5% Cu.

Таблица 2. Термическая обработка и механические свойства кислотостойких сталей

Марка стали	Термическая обработка	$\sigma_B, \text{ кгс/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{ кгс/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	$\alpha_H, \text{ кгс-м/см}^2$	НВ
12X17	Отжиг при т-ре 740—780° С, охлаждение на воздухе	50	—	18	—	—	—
	Отпуск при т-ре 760—780° С, охлаждение на воздухе	40	25	20	50	2—8	156
15X25T	Без термической обработки или отжиг при т-ре 750 ± 20° С	45	30	20	45	—	143
	Отпуск при т-ре 740—780° С, охлаждение на воздухе или в воде	50	—	17	—	—	—
08X21H6M2T	Закалка при т-ре 950° С, охлаждение на воздухе	79	—	30	—	17,7	—
	Закалка при т-ре 1050° С, охлаждение на воздухе	76	—	27	—	23,0	—
04X18H10	Закалка при т-ре 1050—1080° С, охлаждение в воде	50	—	45	—	—	—
	Закалка при т-ре 1050—1100° С, охлаждение на воздухе, в масле или в воде	45	16	40	20	—	—

электродуговых и индукционных печах. Сталь марок 12X17 и 08X17T применяют для изготовления оборудования заводов азотной промышленности: адсорбционных башен, теплообменников для горячих нитрозных газов и горячей азотной кислоты, газов и трубопроводов для кислот. Из стали марок 15X25T и 15X28 изготавливают аппаратуру для растворов гипохлорита натрия, азотной и фосфорной кислот. Для деталей и сварных конструкций, контактирующих со средами повышенной агрессивности, в частности с органическими кислотами (муравьиной, уксусной, молочной, щавелевой не более 5%-ной, а также фосфорной, содержащей фтористые соединения, борной кислоты с примесью серной до 1% и кремнефтористоводородной до 1% при температуре выше 40°С), используют сталь марки 08X21H6M2T. Сталь марки 08X18H10T, отличающуюся повышенной сопротивляемостью межкристаллитной коррозии, применяют для изготовления сварных изделий, эксплуатируемых в высокоагрессивных средах. Сталь марки 04X18H10 также применяют для изготовления сварных изделий, подвергающихся воздействию азотной к-ты и азотно-кислых сред при повышенных т-рах. Из стали марки 10X17H13M2T изготавливают сварные конструкции, эксплуатируемые в кипящей фосфорной, серной, 10%-ной уксусной кислотах и сернокислых средах. Из стали марки 03X21H21M4ГБ изготавливают сварные конструкции и узлы, эксплуатируемые в условиях действия горячей фосфорной кислоты с примесью фтористых и сернистых соединений, серной кислоты низких концентраций при т-ре не выше 80°С и азотной кислоты при т-ре до 95°С. Для сварных конструкций, эксплуатируемых при т-ре до 80°С в серной кислоте различных концентраций, в уксусной и фосфорной кислотах (за исключением 55%-ных), в кислых и сернокислых средах, применяют сталь марки 06XH28MДТ. Марки и хим. состав К. с. приведены в ГОСТе 5632—72.

Лит.: Химущин Ф. Ф. Нержавеющие стали. М., 1967; Бабakov А. А.,

КИСЛОТОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, отличающиеся повышенной *кислотостойкостью*; вид *химически стойких материалов*. В пром. масштабах используются с середины 18 в. Различают К. м. металлические и неметаллические. К металлическим К. м. относятся сплавы на основе железа, а также цветные металлы и их сплавы (см. также *Кислотостойкие сплавы*). Кислотостойкие сплавы на основе железа: *углеродистые стали* (нелегированные, низколегированные), содержащие до 1% С; *высоколегированные стали*, имеющие в своем составе хром, никель, медь, марганец, титан и др. хим. элементы; *чугуны* (нелегированные, высоколегированные), содержащие более 2,5—2,8% С. Кислотостойкие цветные металлы: никель, медь, алюминий, титан, цирконий, олово, свинец, серебро, ниобий, тантал, золото, платина и др. Углеродистые стали стойки в растворах холодной азотной к-ты (концентрация 80—95%), серной к-ты (выше 65%) до т-ры 80°С, в плавиковой к-те (выше 65%), а также в смесях азотной и серной к-т. На углеродистые стали сильно действуют органические к-ты (адипиновая, муравьиная, карболовая, уксусная, щавелевая), особенно с повышением их т-ры. Высоколегированные стали, отличающиеся повышенной стойкостью к *коррозии металлов* (см. также *Коррозионно-стойкие материалы*), являются в то же время кислотостойкими. Большинство легирующих добавок значительно повышают кислотостойкость сталей. Так, медь придает хромоникелевым сталям повышенную стойкость к серной к-те. Сталь с 17—19% Cr, 8—10% Mn, 0,75—1% Cu, 0,1% Si и 0,2—0,5% Si стойка в азотной к-те (любой концентрации и т-ры вплоть до т-ры кипения) и многих др. хим. соединениях (см. *Кислотостойкая сталь*). Кислотостойкие высоколегированные чугуны: никелевые, хромистые (см. *Хромистый чугун*), алюминиевые (см. *Чугалы*), высококремнистые (ферросилиды), хромоникельмедистые (см. *Нирезист*), хромоникелькремнистые (никросилал). Наиболее распространены ферросилиды

марок С15 и С17, обладающие высокой стойкостью в горячих растворах серной, фосфорной, азотной и хромовой к-т, в холодной разбавленной соляной к-те, а также в органических к-тах. Кислотостойкими являются и «антихлоры» (кремнемолибденовые чугуны с 3—4% Мо), особенно в растворах соляной к-ты. Хромистые чугуны марок Х28Л и Х34Л стойки к воздействию кислотокоррозионных сред при повышенных т-рах. Введение меди повышает кислотостойкость хромистых чугунов в восстановительных средах. *Монель-металл* стоек в соляной (до 15%) и плавиковой к-тах, если доступ воздуха ограничен. Сплавы никеля с молибденом (марок ЭИ-460, ЭИ-461, ЭП-495, ЭП-496, ЭП-567, ЭП-375) отличаются исключительно высокой стойкостью в концентрированных серной, фосфорной и соляной к-тах при повышенной т-ре. Никелькремнистый сплав (типа *хастелоя Д*) стоек в горячих растворах серной к-ты (40—94%). Сплав инконель стоек в разбавленной (до 5%) соляной к-те, а также в серной, плавиковой и фосфорной к-тах при обычной т-ре. Алюминий, вследствие самопассивации в окислительных средах, отличается стойкостью в концентрированных серной и азотной, а также в органических к-тах. Сплавы алюминия с кремнием и медью марок АЛ-4, АЛ-4Б и *силумины* марок СИЛ-1, СИЛ-2 более стойки в кислотной среде (особенно в азотной к-те), чем чистый алюминий. Титан стоек в растворах разбавленных к-т (серной, соляной, органических), в азотной к-те и «царской водке» при повышенной т-ре; кислотостойкость его повышается при добавлении палладия, молибдена и тантала. Тантал исключительно кислотостоек в широких пределах концентраций реагентов и т-р — в соляной к-те до т-ры 110° С, в азотной и серной — до т-ры 175° С, в фосфорной к-те — до т-ры 180° С. На него не действуют «царская водка», хромовая смесь, хлористая, хлорноватая и азотная к-ты, бромистый водород. Ниобий и его сплавы с молибденом, алюминием и никелем отличаются высокой стойкостью в соляной, азотной, серной и фосфорной к-тах всех концентраций (кроме высококонцентрированной серной к-ты). Свинец

стойк в соляной и серной к-тах, в среде сернистых газов и др. серных и сернистых соединений. Кислотостойкость его понижается при действии горячих серной и соляной к-т. Молибден стоек в соляной, серной, фосфорной и плавиковой к-тах (кроме горячей концентрированной серной к-ты). Цирконий и его сплавы кислотостойки в тех же средах, что и титан. Цирконий стоек в азотной к-те при нагреве до т-ры 250° С, в разбавленной (до 60%) кипящей серной к-те. На т-ру не действуют разбавленные серная и соляная к-ты. Магний стоек в хромовой и фтористоводородной к-тах. Кремний не реагирует с соляной к-той, бромистым водородом и йодистым водородом даже при т-ре красного каления. Германий не взаимодействует с соляной и разбавленной серной к-тами. Вольфрам кислотостоек в интервале всех концентраций в соляной, азотной и фосфорной к-тах, нагретых до т-ры 190° С, а также в холодных и горячих растворах плавиковой и разбавленной (до 40%) серной к-т. Рений практически нерастворим в соляной к-те и фтористом водороде. Золото стойко в соляной, муравьиной и плавиковой к-тах. Стоек к воздействию органических к-т кобальт. Рутений стоек в кипящей уксусной к-те, бромистом водороде, йодистом водороде и горячей «царской водке». Палладий обладает стойкостью в горячей соляной к-те (при наличии кислорода). Иридий стоек в кипящих бромистом водороде, йодистом водороде, уксусной к-те и «царской водке». Платина отличается стойкостью при т-ре 100° С в хлорной и плавиковой к-тах. Неметаллические К. м. представляют собой, как правило, соли силикатных кислот, повышенная кислотостойкость к-рых обуславливается наличием кислотного окисла. К таким К. м. относятся каменное литье из *диабаз* и *базальта* (см. также *Петрургические материалы*), плавленный *кварц*, *стеклоуглерод*, *силикатное стекло*, кислотостойкие *эмали* и *замазки*, *кислотостойкий бетон*, *керамические материалы*, *шлакоситаллы*, кислотостойкие *цементы*, *гранит*, *асбест*, *андезит*,

бештаунит и др. Плавленный кварц и стеклоуглерод не поддаются действию минеральных и органических к-т. На кварц разъедающе действует лишь плавиковая к-та, а на стеклоуглерод — концентрированные хлоратная, азотная и серная к-ты при высокой т-ре. Боросиликатное стекло стойко в кислой среде и обладает, кроме того, высокой *термостойкостью*. Эмали стойки в растворах кислот в широком интервале концентраций; большинство кислотостойких эмалей близки по хим. составу ($\approx 70\% \text{SiO}_2$, 20% окислов щелочных металлов, до $10\% \text{CaO}$, Al_2O_3 , BaO_3 и др.). Добавление окислов редких и редкоземельных элементов (ZrO_2 , La_2O_3) повышает их кислотостойкость. Силикатные кислотостойкие замазки состоят из наполнителя (порошка диабазы, базальта, андезита, сурика) и *растворимого стекла*. Керамические материалы кислотостойки при повышенных т-рах во всех средах, исключая горячую фосфорную к-ту и фтористый водород. Шлакоситаллы на основе силикомарганцевого шлака обладают кислотостойкостью ($99,7\%$) в концентрированных азотной и серной к-тах. Кислотостойкие цементы, в к-рых наполнителями служат молотый кокс, графитовый порошок, силикатная мука, не поддаются действию минеральных к-т ср. концентрации. Гранит стоек к воздействию к-т до т-ры $200\text{--}250^\circ \text{C}$. Стоек в минеральных к-тах антофиллитовый асбест. Андезит и бештаунит обладают высокой стойкостью ко всем минеральным к-там, кроме плавиковой. Из простых веществ (кроме металлов) наиболее кислотостойки бор и кремний. Кристаллический бор не растворяется в соляной и плавиковой к-тах, горячей концентрированной серной к-те и хромовой смеси. Весьма хорошо зарекомендовали себя как К. м. *силициды*, *карбиды*, *нитриды* и *бориды*. Сульфид германия (GeS_2) стоек в разбавленных к-тах, нитрид кремния (Si_3N_4) не взаимодействует с концентрированными к-тами, карбид кремния (SiC) стоек во всех к-тах, кроме смеси азотной и плавиковой, а также фосфорной до т-ры

2300°C . Карбиды тугоплавких металлов (WC , W_2C , MoC , TaC , NbC , Cr_3C_2 , ZrC , TiC) не разлагаются к-тами. Значительного повышения кислотостойкости изделий из *чистых металлов* и сплавов добиваются нанесением покрытий, напр. *борированием*. К. м. находят применение в хим. и легкой пром-сти, электротехнике, машиностроении и др. отраслях пром-сти.

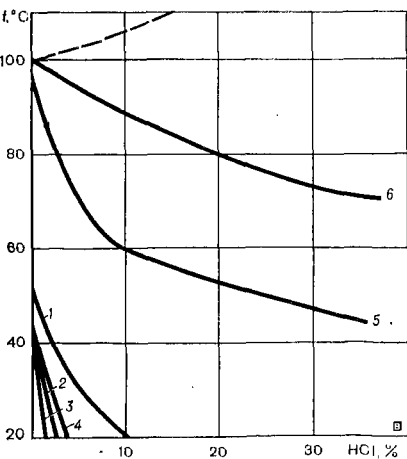
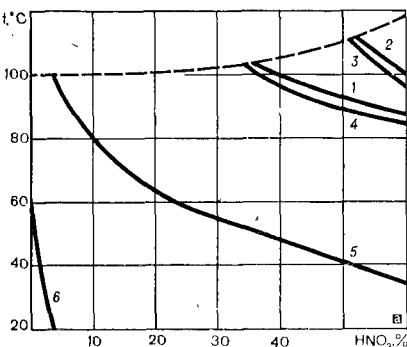
Лит.: Дятлова В. Н. Коррозионная стойкость металлов и сплавов. Справочник. М., 1964; Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. М., 1967; Дороненков И. М. Защита промышленных зданий и сооружений от коррозии в химических производствах. М., 1969; Туфанов Г. Д. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей и чистых металлов. Справочник. М., 1973; Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Коррозия и коррозионностойкие сплавы. М., 1973; Ажогин Ф. Ф. Коррозионное растрескивание и защита высокопрочных сталей. М., 1974.

[А. М. Голуб.] В. И. Максим.

КИСЛОТОСТОЙКИЕ СПЛАВЫ — сплавы, отличающиеся *кислотостойкостью*. Стойкость сплавов к к-там и кислотам агрессивным средам зависит от концентрации к-ты, величины рН, т-ры, от анионного состава кислой среды и ее окислительно-восстановительного потенциала. По действию на сплавы различают к-ты неокислительного характера (напр., растворы HCl , H_2SO_4) и кислые среды окислительного характера (напр., HNO_3 или смесь неокислительных к-т с окислителем). Для создания большинства кислотостойких пассивирующихся сплавов наиболее важны хром и титан. В пержавеющих и *кислотостойких сталях* хрома, напр., должно быть не менее 13% . Однако кислотостойкость этих сплавов часто оказывается недостаточной при наличии нек-рых активизирующих ионов (Cl^- , Br^- , F^-), она может также снижаться в чрезмерно окислительных средах при потенциалах более положительных, чем $+1,0$ в (явление перепассивации). Титан, в отличие от хрома и пержавеющих сталей, характеризуется пассивностью, устойчивой к хлор-ионам, и не склонен к перепассивации, стоек в «царской водке», в к-рой нестойки не только пержавеющие стали, во и благородные металлы. Однако в полностью безводных активных средах (солянокислом растворе метанола, дымящей-

азотной к-те, безводном хлоре) титан оказывается нестойким, поскольку его пассивность связана с возможностью образования окисной пассивной пленки за счет кислорода воды. Специфическое влияние на кислотостойкость сплавов оказывает ионный состав к-т. При образовании нерастворимых соединений металла с анионом к-ты появляется специфическая кислотостойкость металла, не связанная непосредственно с его термодинамической стабильностью или большой склонностью к пассивации,

Изокоры (0,1 мм/год) кислотостойких сплавов (1 — сталь марки 0X23H28M3ДЗТ; 2 — сталь марки 0X21H6M2Т; 3 — сталь марки 0X18H10Т; 4 — сталь марки X18H12M2Т; 5 — хастеллой С; 6 — хастеллой В) в зависимости от температуры и концентрации кислоты. Штриховая линия соответствует температуре кипения кислоты (α — HNO_3 ; β — H_2SO_4 ; γ — HCl ; δ — H_3PO_4).



напр. стойкость свинца в растворах H_2SO_4 , магния — в растворах HF , относительная стойкость железа в фосфорнокислых растворах. Органические к-ты воздействуют на сплавы менее активно, чем минеральные, причем тем активнее, как правило, чем меньше атомов углерода в молекуле к-ты. При создании К. с. намечается осн. закономерность, наиболее четко выявляемая в процессе образования гомогенных сплавов типа *твердого раствора*. Если в сплав ввести достаточное количество компонента, стойкого (по той или иной причине) в данной к-те, появляется кислотостойкость и всего сплава, вызываемая этой же причиной. Так, при введении в медь золота, в никель — меди, а в железо — никеля (при достаточном

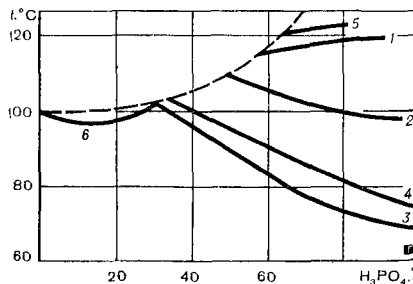
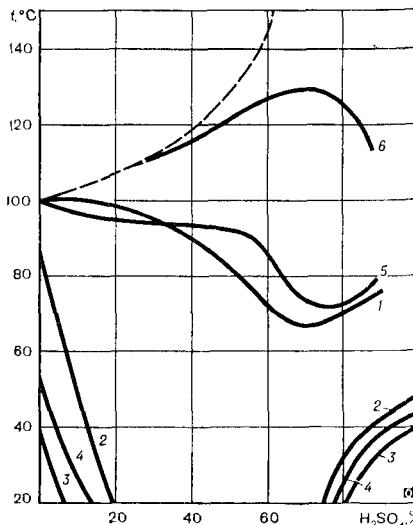


Таблица 1. Кислотостойкость титана и сплава титан — палладий

Агрессивная среда	Концентрация, %	Скорость растворения, мм/год	
		титана марки ВТ1-0	сплава титан — палладий
Соляная кислота ($t_{кип}$)	5	19,3	0,10
Серная кислота ($t_{кип}$)	5	25,4	0,51
Фосфорная кислота (150° С)	5	8,15	0,15
Муравьиная кислота ($t_{кип}$)	85	4,26	0,1
Хлористый алюминий ($t_{кип}$)	25	51,3	0,025
Хлористый кальций (177° С)	73	2,13	0,00

Таблица 2. Кислотостойкость титанового сплава марки 4201

Агрессивная среда	Концентрация, %	Температура, °С	Продолжительность испытания, ч	Скорость растворения, мм/год
Серная кислота	5	150	—	0,25
	5	175	—	1,40
	15	125	—	0,16
	15	150	—	6,90
	40	125	—	0,20
	85	120	—	16,6
Соляная кислота	5	$t_{кип}$	—	0,054
	15	150	—	0,64
	15	$t_{кип}$	—	0,23
	20	20	—	0,014
	20	$t_{кип}$	—	0,4
Фосфорная кислота	15	150	—	0,02
	50	$t_{кип}$	125	0,10
	70	$t_{кип}$	125	0,15
	80	$t_{кип}$	125	0,8
Уксусная кислота	60	200	—	0,01
	93	200	—	0,04
Муравьиная кислота	25	$t_{кип}$	800	0,10
	25	200	800	0,29
	60	200	125	0,01
	85	200	125	0,04
Аммиак	7	$t_{кип}$	—	0,014
	30	$t_{кип}$	—	0,4
Щавелевая кислота	10	$t_{кип}$	—	0,7
Азотная кислота	15	20	300	0,01
	15	$t_{кип}$	—	Не стоек
	25	20	—	0,1
	60	$t_{кип}$	—	Не стоек
«Царская водка»	—	$t_{кип}$	—	Не стоек

прогнозирование вторым компонентом (первого) наблюдается повышение кислотостойкости сплава в неокислительных к-тах вследствие увеличения его термодинамической стабильности. При введении более пассивирующегося компонента (напр., хрома) в менее пассивирующийся (напр., в железо) кислотостойкость всего сплава повышается вследствие возрастания пассивируемости твердого раствора железа — хром (нержавеющие кислотостойкие стали). Введение в стали и никелевые сплавы молибдена, образующего с хлор-ионами нерастворимые хлорокисные соединения, повышает стойкость этих материалов к солянокислым растворам. В то же время способность молибдена к перепассивации приобретают и титановые сплавы, содержащие значительное количество молибдена (напр., 32%), хотя сам титан к перепассивации не склонен. Все шире применяют сплавы титана с палладием (0,2%), характеризующиеся достаточно высокой стойкостью в некоторых кислых средах (табл. 1), в то время как титан в этих условиях нестойк.

Наиболее стойки в неокислительных к-тах сплавы титана с высоким содержанием молибдена (31—35%), в т. ч. сплав марки 4201. Этот сплав стоек в ряде агрессивных растворов, включая горячие сернокислые и солянокислые, и разрушается только в очень концентрированных горячих растворах этих к-т (табл. 2). В азотной и окислительных к-тах он стоек при низких т-рах и концентрациях, при повышенных т-рах в окислит. средах его применение исключается. В этих условиях стойки сплавы, содержащие не более 5% Мо. Кислотостойкость конструкционных сплавов в зависимости от т-ры и концентрации к-ты сравнивают по кривым равной скорости коррозии (исокограм, рис. с. 589). К широко применяемым К. с. относятся стали марок 0Х23Н28М3Д3Т, 0Х21Н6М2Т, 0Х18Н10Т и Х18Н12М2Т, никелевые сплавы *хастеллой* С марки 0Х15Н55М16В и хастеллой В марки Н70М27Ф. Стали марок 0Х21Н6М2Т и 0Х18Н10Т более стойки в растворе азотной к-ты, чем стали марок 0Х23Н28М3Д3Т и Х18Н12М2Т, но малостойки в растворах серной, соляной и фосфорной к-т. Сталь марки

0Х23Н28М3Д3Т обладает стойкостью в растворах фосфорной и серной к-т, но недостаточно стойка в растворах соляной к-ты, в к-рых малостойки и другие нержавеющие стали. Сплавы хастеллой В и С отличаются стойкостью в р-рах серной, соляной и фосфорной к-т и низкой стойкостью в азотной к-те. Понижение в хастеллой С содержания никеля, молибдена и повышение содержания хрома приводит к повышению кислотостойкости по сравнению с хастеллой В в азотной и фосфорной и к снижению ее в серной и соляной к-тах. Стандартные К. с. изготовляют по ГОСТу 5632—72. См. также *Коррозионностойкие материалы*.

Лит.: Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющих сталей и чистых металлов. Справочник. М., 1973; Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Коррозия и коррозионностойкие сплавы. М., 1973; Применение титана в народном хозяйстве. К., 1975; Rabald E. Corrosion guide. Amsterdam, 1968. Н. Д. Томашов.

КИСЛОТОСТОЙКИЙ БЕТОН — бетон, отличающийся *кислотостойкостью*. Его вяжущим служит кислотостойкий кварцевый кремнефтористый цемент, представляющий собой смесь тонкоизмельченного кварцевого песка (92%) и кремнефтористого натрия (8%). Затворяют цемент *жидким стеклом*, водным раствором силиката натрия с кремнеземистым модулем 2,65—3,0 или силиката калия с кремнеземистым модулем 2,8—3,0 и плотностью соответственно 1,36 и 1,38. Песок и щебень — из химически стойких пород: *обазита*, *базальта*, *бештаунита*, *диабазы*, *гранита*, *кварцита*, *фельзита* или искусственных материалов: *фарфора*, керамики, *шамота*. Расход материалов на 1 м³ бетона (в кг) ориентировочно составляет: цемента кислотостойкого — 460, жидкого стекла — 180—220, песка — 550, щебня — 1100. К. б., стойкий к действию сильных к-т (серной, соляной, азотной и др.), разрушается в среде, содержащей фтористоводородную, кремнефтористую, высшие жирные к-ты, щелочь. К. б. разрушает также кипящая вода и водяной пар. По физ.-мех. свойствам К. б. аналогичен обычным *тяжелым бетонам* на клинкерных цементах, но модуль упругости К. б., в

отличие от обычного, находится в обратной зависимости от напряжения. Прочность К. б. на растяжение выше, чем обычного бетона, и составляет около 20% прочности на сжатие. В отличие от обычного бетона, нарастание прочности К. б. происходит в условиях, обеспечивающих его высыхание. Наиболее благоприятная т-ра твердения К. б. — 20—30° С. Улучшение кислото- и водостойкости бетона достигается оптимизацией гранулометрического состава, заполнителей, эффективным уплотнением при укладке, уплотнением структуры силикатного камня, дополнительным высушиванием при т-ре 200—300° С, обработкой затвердевшего бетона крепкой минер. кислотой (кислование бетона). Повышение водостойкости К. б. достигается также добавкой реакционноспособного кремнезема, входящего в состав силикагеля, опала и т. д., или добавкой полимеризующихся веществ, напр. фурилового спирта с отвердителем (в пределах 10% от массы жидкого стекла). К. б. применяют для сооружения хранилищ, травильных и гальванических ванн, нейтрализаторов, кристаллизаторов, отстойников, баппен и т. п. Применение К. б. сокращает расход свинца, каменного дтъя, керамики, пластмасс и других дорогостоящих материалов, повышает индустриальность строительства. Его применение запрещено при строительстве и ремонте жилых зданий, а также сооружений пищевой промышленности.

Лит.: Субботкин М. И., Курцына Ю. С. Кислотоупорные бетоны и растворы на основе жидкого стекла. М., 1967; Балалаев Г. А., Дерешкевич Ю. В., Горина В. С. Производство антикоррозионных работ в промышленном строительстве. М., 1973.

А. Г. Кореньюк.

КИСЛОТОСТОЙКОСТЬ — свойство материалов противостоять разрушающему действию растворов кислот или их смесей. Определяется отношением (в процентах) массы измельченного материала (порошка), обработанного той или иной к-той указанной концентрации, к его массе до обработки. Эта характеристика относится к строго определенным условиям: продолжительности обработки, т-ре, избыт-

ку и концентрации реактива. К такому количественному выражению К. прибегают тогда, когда взаимодействии исследуемого порошка с к-той сопровождается образованием растворимых в к-те или газообразных продуктов реакции. Если же образуются малорастворимые продукты, используют др. приемы, напр. определяют количество разложившегося порошка по содержанию одного из его компонентов в растворе с последующим пересчетом на исследуемое соединение. К. в большой степени зависит от *гранулометрического состава*, кристаллической структуры и шероховатости поверхности частиц порошка. Значительной К. обладают материалы, в состав к-рых входят нерастворимые кислотные окислы (напр., сложные алюмосиликаты, практически стойкие к действию всех к-т, за исключением фтористоводородной), *стекла*, кислотоупорные *эмали*, такие горные породы, как *андезит*, *базальт*, *габбро*, *порфир* и др. Стойки к действию различных к-т неметаллические *тугоплавкие соединения*: карбиды бора и кремния, их нитриды, оксинитрид кремния, дисилициды переходных металлов IV—VI групп периодической системы элементов, их окислы. Среди порошков переходных металлов IV—VI групп периодической системы элементов наибольшая К. — у порошка металлического тантала, к-рый практически стоек в таких разбавленных и концентрированных к-тах, как азотная, соляная, серная и фосфорная, и растворяется только в смеси фтористоводородной и азотной к-т. См. также *Кислотостойкие материалы*.

Лит.: Самсонов Г. В. [и др.]. Анализ тугоплавких соединений. М., 1962; Самсонов Г. В. Тугоплавкие соединения. М., 1963; Кугай Л. Н., Назарчук Т. Н. О химической стойкости диборидов переходных металлов IV—V групп периодической системы элементов. «Порошковая металлургия», 1971, № 3; Копылова В. П., Назарчук Т. Н. Химическая устойчивость порошков нитрида и оксинитрида кремния. «Порошковая металлургия», 1975, № 10.

В. П. Копылова, Т. Н. Назарчук.

КЛАПАНАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся стойкостью при высокой т-ре; вид жаропрочной стали. Используется для изготовления впускных и выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания. Приме-

яется с 20-х гг. Р. с. характеризируется значительной жаропрочностью в условиях динамических нагрузок, выносливостью (сопротивлением усталости), стабильностью мех. св-в, высокой поверхностной твердостью ($\geq 30HRC$) при отсутствии хрупкости, жаростойкостью в среде продуктов сгорания топлива (часто содержащих PbO , V_2O_5 , SO_2), достаточной теплопроводностью, ограниченным коэфф. термического рас-

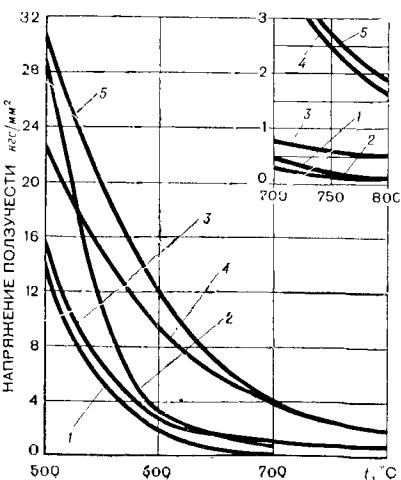
эксплуатируемых при t -ре до $600^\circ C$. Хромокремнистые стали (спльхромы) мартенситного класса содержат 0,3—0,5% С, 2—4% Si, до 12% Cr. Иногда эти стали легируют молибденом (0,3—1%), что уменьшает отпускную хрупкость, препятствует значительному укрупнению зерна и повышает жаропрочность. Сплъхро-

Химический состав, прочность и максимальные температуры эксплуатации клапанных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %								σ_B , кгс/мм ²		Максимальная t -ра эксплуатации, $^\circ C$
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	N	20 $^\circ C$	800 $^\circ C$	
25X1МФ	0,25	$\leq 0,35$	0,6	$\leq 0,35$	1,5	0,3	—	—	90	—	550
4X9C2	0,40	2,5	$\leq 0,8$	—	9	—	—	—	74	7	700
4X10C2M	0,40	2,3	$\leq 0,8$	—	10	0,8	—	—	75	10	700
4X14H14B2M	0,45	$\leq 0,8$	$\leq 0,7$	14	14	0,3	2,5	—	75	25	800
5X20H4AГ9	0,50	$\leq 0,4$	9,0	4	21	—	—	0,5	100	30	800
8X20H2C2	0,80	1,5	0,7	1—2	20	—	—	—	100	10	900

ширения. Различают К. с. перлитного (см. *Перлит* в металловедении), мартенситного (см. *Мартенсит*) и аустенитного (см. *Аустенит*) классов (табл.). Низколегированные стали перлитного класса используют для изготовления впускных клапанов,

содержащие 3% Cr, применяют для изготовления только впускных клапанов. Из спльхромов, содержащих 8 и 12% Cr или легированных молибденом, изготавливают выпускные клапаны (рабочая t -ра до $700^\circ C$). Стали аустенитного класса используют для изготовления выпускных клапанов, эксплуатируемых при t -ре 750 — $900^\circ C$ (в средних и тяжелых условиях). Такие стали содержат 14—24% Cr, 12—25% Ni, 0,2—0,6% С. Хром способствует повышению коррозионной стойкости в среде выхлопных газов. Однако стали, содержащие 21—24% Cr, склонны к образованию в структуре сигма-фазы, способствующей охрупчиванию. Иногда в стали аустенитного класса никель частично заменяют марганцем (5—10%). В такие стали для ста-



Зависимость жаропрочности клапанных сталей от температуры: 1—сталь марки 4X9C2; 2 — сталь марки 8X20H2C2; 3 — сталь марки 4X10C2M; 4 — сталь марки 4X14H14B2M; 5 — сталь марки 5X20H4AГ9. В качестве критерия жаропрочности принято напряжение, вызывающее деформацию ползучести, равную 0,1% за 100 ч эксплуатации.

билизации аустенита вводят азот (0,10—0,40%). Некоторые стали аустенитного класса содержат вольфрам или молибден (2—3%). Высокой жаростойкостью и сопротивлением *ползучести* характеризуется сталь марки 5Х20Н4АГ9 (рис. с. 593). Она отличается также наиболее высокими мех. св-вами при нормальной и рабочей т-рах. К. с. выплавляют преим. в электр. печах, поставляя в прутках диаметром 20—30 мм, из к-рых клапаны изготовляют обычным штампованием («высадкой») или *экструзией* в специальной пресс-форме с последующей доводкой тарелки клапана в штампе. Отливают клапаны сравнительно редко (только выпускные). Известны составные (сварные) конструкции клапанов. Для увеличения поверхностной твердости и повышения *износостойкости* стержни (штоки) клапанов из стали аустенитного класса иногда подвергают *азотированию*, а стержни клапанов из стали перлитного и мартенситного классов — *высокочастотной закалке*. Основным дефектом клапанов является прогар тарелки в месте, где она соприкасается с седлом. В наиболее тяжелых условиях эксплуатации (напр., в двигателях, эксплуатируемых на этилированном бензине при т-ре 900°С) этот дефект наблюдается в клапанах даже из высоколегированных сталей. Чтобы увеличить срок службы клапанов, применяют наплавку поверхности посадочного конуса тарелки износостойкими и *жаростойкими сплавами*. Марки и хим. состав К. с. приведены в ГОСТах 13233—67 и 5632—72.

Лит.: Борздыка А. М. Жароупорные и теплоустойчивые стали. М.—Л., 1937; Справочник машиностроителя, т. 6. М., 1964. А. М. Борздыка.

КОАГУЛЯЦИЯ (лат. coagulatio — свертывание) — укрупнение высокодисперсных частиц под действием межмолекулярных сил притяжения. Происходит либо вследствие *рекристаллизации* частиц (крупные частицы растут за счет более мелких), либо в результате слипания их при соударениях, обусловленных броуновским движением. К. приводит к выделению из коллоидного раствора осадка — коагулята (*я в н а я к о*

а г у л я ц и я) или к образованию сплошной пространственной твердобразной структуры (*з а с т у д н е в а н и е*). Иногда К. проявляется лишь в изменении свойств (напр., цвета) коллоидного раствора и не сопровождается выпадением осадка (*с к р ы т а я к о а г у л я ц и я*). К. вызывают старение системы, изменение концентрации дисперсной фазы и т-ры, мех. воздействие, поглощение лучистой энергии, добавление электролитов. Особое значение имеет К. коллоидных систем электролитами, наступающая тогда, когда концентрация электролита в золье (высокодисперсной коллоидной системе с жидкой дисперсионной средой) превышает некоторую критическую величину (порог коагуляции). Коагулирующим действием обладают только ионы, заряд к-рых противоположен заряду коллоидных частиц и резко возрастает по мере увеличения заряда ионов. Коагулирующее действие ионов с одиноватым зарядом возрастает с увеличением их радиуса и специфической адсорбируемости (см. *Адсорбция*). В дисперсных системах возможно слипание разнородных частиц (*г е т е р о к о а г у л я ц и я*), напр. при смешении зольей с противоположными зарядами частиц (*в з а и м н а я к о а г у л я ц и я*). При К. аэрозолей (зольей с газообразной дисперсионной средой) весьма существенно различие в скоростях движения частиц разных размеров. Крупные частицы, осаждаясь с большей скоростью, захватывают более мелкие (*г р а в и т а ц и о н н а я к о а г у л я ц и я*). Скорость К. определяется произведением двух величин, одна из к-рых характеризует частоту соударений частиц, а другая — вероятность их слипания при сближении (ω). Если $\omega = 1$ (*б ы с т р а я к о а г у л я ц и я*), коллоидные системы существуют недолго, и их устойчивость определяется частотой столкновения частиц. Агрегативная устойчивость дисперсных систем резко возрастает при $\omega < 1$ (*м е д л е н н а я к о а г у л я ц и я*), т. е. при наличии между частицами дисперсной фазы сил отталкивания, препятствующих их слипанию. Эти силы обусловлены электр. зарядом частиц. При сближении коллоидных частиц в жидкой дисперсной

реде, в результате перекрывания диффузных частей двойных электрослоев, возникают электростатические силы отталкивания. Агрегативная устойчивость дисперсных систем увеличивается также при сольватации (присоединении растворителя к веществу) частиц дисперсной фазы или связанных с ними потенциалопределяющих ионов. Устойчивость коллоидов резко возрастает при образовании на поверхности частиц дисперсной фазы адсорбционных слоев поверхностно-активных веществ. Стабилизирующее действие таких слоев обуславливается возникновением структурно-механического барьера и сводится к тому, что за время столкновения частиц при броуновском движении высоковязкая прослойка между ними не успевает выдавливаться. К. используется при изготовлении неорганических материалов, в процессах крашения тканей и кожи, при очистке воды, проклеивании бумаги и т. д. См. также *Коалесценция*, *Флокуляция*.

Лит.: Дерягин Б. В. Современное состояние теории устойчивости лиофильных суспензий и золей. В кн.: Труды третьей Всесоюзной конференции по коллоидной химии. М., 1956; Воюцкий С. С. О проблеме устойчивости коллоидных систем и ее изложении в курсах коллоидной химии. — Ребиндер П. А., Таубман А. Б. Замечания к вопросу об агрегативной устойчивости дисперсных систем. «Коллоидный журнал», 1961, т. 23, в. 3. М. В. Товбин.

КОАЛЕСЦЕНЦИЯ (от лат. coalesco — срастаться, соединяться) — 1) В материалах введении — укрупнение кристаллических частиц, диспергированных в твердой среде. Рост одних частиц и растворение других происходит в результате диффузионного переноса вещества (см. *Диффузия*) от мелких к крупным частицам коалесцирующей фазы. В результате общее число диспергированных частиц уменьшается, а их размеры увеличиваются. К. обуславливается уменьшением свободной энергии системы, поскольку суммарная межфазная поверхность, характеризующаяся повышенной энергией, сокращается. К. диспергированных кристаллических частиц упрочняющей фазы в конструкционных сталях и инструментальных сталях используют для увеличения пластичности; твердость и прочность при этом уменьшаются. 2) В коллоидной

химии — слияние соприкасающихся капель жидкости или газовых пузырей, находящихся в газообразных или жидких средах. Коалесценции в жидких средах часто предшествует *коагуляция*.

Лит.: Воюцкий С. С. Курс коллоидной химии. М., 1964; Бунин К. П., Баранов А. А. Металлография. М., 1970. К. П. Бунин.

КОБАЛЬТ (Cobaltum; от нем. Kobold — домовый, гном), Co — хим. элемент VIII группы *периодической системы элементов*; ат. н. 27, ат. м. 58,9332. Тяжелый металл серебристого цвета с синеватым отливом. В соединениях проявляет степени окисления 0, +2 и +3. Природный К. состоит в основном из стабильного изотопа ^{59}Co . Важнейший из искусственных радиоактивных — изотоп ^{60}Co с периодом полураспада 5,24 года. Металлический К. впервые получил в 1735 швед. химик Ю. Брандт. Пром. использование К. относится к началу 20 в. (1907), когда был создан твердый сплав *стеллит*. Содержание К. в земной коре 3·10⁻³%. К. содержится в метеоритах, в микроколичествах обнаружен в морской воде, минер. источниках, в почве, в растительных и животных организмах. Значительное его количество (до 0,5%) найдено на дне океана (в «конкрециях»). В сульфидных кобальтсодержащих рудах встречаются минералы: каттиерит CoS_2 , линнеит Co_3S_4 , карролит $\text{CuS} \cdot \text{Co}_3\text{S}_3$ и зигенит $(\text{Co}, \text{Ni})_3\text{S}_4$. В мышьяковых кобальтсодержащих рудах есть кобальтин (кобальтовый блеск) CoAsS , скуттерудит CoAs_3 и саффлорит $(\text{Co}, \text{Fe})\text{As}_2$. В окисленных (силикатных) рудах встречаются: гетерогенит $\text{CoO} \times \times 2\text{Co}_2\text{CO}_3$, асболан $\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{CoO} \times \times p\text{MnO}_2 \cdot q\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, сферокобальтит CoSO_3 . Металлический К. существует в двух модификациях: при низкой *t*-ре и до *t*-ры 450°С стойка альфа-модификация с гексагональной плотноупакованной решеткой и периодами $a = 2,5071 \text{ \AA}$ и $c = 4,0864 \text{ \AA}$. При *t*-ре 450°С К. переходит в бета-модификацию с кубической гранцентрированной решеткой и периодом $a = 3,5480 \text{ \AA}$ (при *t*-ре 20°С в закаленном состоянии).

Плотность (т-ра 20°C) $8,90 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 1493^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{кип}} 3185^{\circ}\text{C}$; температурный коэфф. линейного расширения $12,08 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; коэфф. теплопроводности (т-ра 20°C) $0,165 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$; удельная теплоемкость (т-ра 20°C) $0,0989 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$; удельное электрическое сопротивление (т-ра 20°C) $5,68 \cdot 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}$. К. ферромагнитен, т-ра Кюри 1124°C (см. Кюри точка). Мех. св-ва К. (т-ра 20°C): предел прочности на растяжение 26 кгс/мм^2 ; относительное удлинение 5%; модуль норм. упругости $20\,750 \text{ кгс/мм}^2$; $HV = 124$. В разбавленных к-тах (соляной, серной, азотной) К. медленно растворяется, плавиковая к-та на него не действует, дымящая азотная к-та пассивирует металл. «Царская водка» и щавелевая к-та растворяют К. при комнатной т-ре, расплавленные щелочи реагируют с ним при т-ре красного каления. Компактный К. при обычной т-ре на воздухе не окисляется, при т-ре 300°C начинает покрываться тонкой окисной пленкой. С кислородом образует окислы CoO , Co_3O_4 и Co_2O_3 . Тонкодиспергированный К. пирофорен. С окисью углерода образует карбонил. Хлор, бром и йод взаимодействуют с К. уже при т-ре 20°C , образуя галогениды. Сера, селен, фосфор, мышьяк и сурьма реагируют при нагревании с образованием *сульфидов, селенидов, фосфидов, арсенидов и антимонидов*. К. сплавляется с бором и кремнием, образуя соответственно *бориды и силициды*. Растворяет водород (от $0,9 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ при т-ре 600°C (до $5,46 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ при т-ре 1200°C) и углерод (1% при т-ре 1300°C и 3,5% при т-ре 1500°C). К. не реагирует с газообразным азотом. Практически не взаимодействует с серебром, ртутью, индием, свинцом и таллием. Образует непрерывные ряды *твердых растворов* (бета-модификацию) с железом, иридием, марганцем, никелем, палладием, платиной и родием; образует обширные, но ограниченные области твердых растворов с золотом, хромом, осмием, рением и рутением. Мн. металлы образуют с К. интерметаллические соединения. К. получают попутно с никелем из

окисленных никелевых и сульфидных медноникелевых руд, подвергая кобальтсодержащее сырье пирометаллургической переработке. Пирометаллургическая стадия включает получение и переработку конверторных шлаков никелевого производства перемешиванием их со штейном рудной плавки, в результате чего получается масса, обогащенная кобальтом. Перерабатывают также жидкие конверторные шлаки медноникелевого производства со штейном рудной плавки при наличии восстановителя, получая обогащенный кобальтом штейн. В дальнейшем штейн конвертируют, и К. переходит в шлак, который восстанавливают, получая богатый по содержанию кобальта сплав никеля и железа. В основе гидрометаллургической переработки сырья лежит перевод К. в раствор в виде сульфатных соединений или аммиачных комплексов. Различают процесс выщелачивания, применимый к рудам и концентратам, и электрохим. растворение — для кобальтсодержащих полупродуктов (сплавов). Получают развитие экстракционные и сорбционные методы разделения никеля и кобальта. Металлический К. получают электролитическим осаждением из растворов на катоде, а также восстановлением товарной окиси К. (смеси $\text{CoO} + \text{Co}_3\text{O}_4 + \text{Co}_2\text{O}_3$) углем в электр. печах. Выпускают К. марок К0 (99,98% Со), К1А (99,30% Со), К1 (99,25% Со), К2 (98,0% Со) и К3 (97,0% Со). К. марки К0 поставляют в виде катодных листов или пластин, нарезанных из катодов; К. марок К1А, К1, К2 и К3 — в виде слитков массой не более 25 кг или катодных пластин. Макс. размер пластины 500×500 , миним. — $20 \times 20 \text{ мм}$. Электролитическим методом получают *кобальтовый порошок* марок ПК-1 (99,2% Со) и ПК-2 (98,2% Со), используемый для производства спеченных изделий. Осн. количества металлического К. идет на произ-во сплавов с особыми физ. св-вами (см. *Кобальта сплавы*), высококоэрцитивных магнитов, быстрорежущей и кобальтовой стали, жаропрочных и твердых сплавов. На основе К. получены катализаторы для органического синтеза. Из соединений К. изготовляют стойкие эмали и краски. Радиоактивный изотоп ^{60}Co приме-

используют как топливо гамма-излучением в технике и медицине («кобальтовая пушка»). Перспективно использование К. в произ-ве газотурбинных двигателей, пост. магнитов новых типов, в устройствах каталитич. дожигания выхлопных газов автомоб. двигателей. См. также *Кобальтирование*.
 Лит.: Пятницкий И. В. Аналитическая химия кобальта. М., 1965; Смирнов В. И. [и др.]. Металлургия меди, никеля и кобальта, ч. 2. М., 1966; Перельман Ф. М., Зворыкин А. Я. Кобальт и никель. М., 1975; Гудима Н. В., Шейн Я. П. Краткий справочник по металлургии цветных металлов. М., 1975; Справочник по редким металлам. Пер. с англ. М., 1965.

В. И. Ниженко.

КОБАЛЬТА СПЛАВЫ — сплавы на основе кобальта. Отличаются малым коэфф. термического расширения — $(15,9 - 16,5) 10^{-6} \text{ град}^{-1}$ в интервале т-р $20-870^\circ \text{C}$, жаростойкостью, высокой коррозионной стойкостью и особыми магнитными свойствами. Наибольшее применение нашли сплавы кобальта с тяжелыми металлами — железом, хромом, никелем, молибденом, вольфрамом и др. (табл.), представляющие собой *твердые растворы*. Такие сплавы подразделяют на твердые, жаропрочные и магнитные. К твердым относятся сплавы типа стеллит, наплавляемые (для повышения износостойкости и реставрации рабочих органов) на кромки режущих инструментов и детали машин. Стеллиты, содержащие 80% Со и 20% Сг, наз. мягкими (см. также *Стеллит*, *Твердые сплавы*). Твердые сплавы, упрочненные карбидными фазами с содержанием до 1% С, способны сохранять св-ва до т-ры

1100°C . Жаропрочные сплавы сохраняют работоспособность при т-ре до 1100°C , их предел длительной прочности 7 кгс/мм^2 . Сплавы, содержащие до 50% Со, отличаются высоким сопротивлением термической усталости и удовлетворительно обрабатываются давлением. Такие сплавы применяют для изготовления деталей, эксплуатируемых при высокой т-ре, напр. лопаток турбореактивных двигателей. К магнитным относятся сплавы *викаллой*, *комол*, *перминвар*, *магнито*, *пермендюр* и др. Они обладают различными магн. св-вами: высокими остаточной индукцией, коэрцитивной силой, магн. энергией. К магн. относится также сплав кобальта с платиной, который после закалки при т-ре 1200°C в масле и отпуске при т-ре 650°C имеет очень высокую коэрцитивную силу (2650 э), вследствие чего его используют для изготовления очень коротких постоянных магнитов. Сплавы, содержащие свыше 20% Сг, стойки к воздействию минеральных кислот. Слабые серная, соляная и азотная кислоты не разрушают эти сплавы при нагревании до т-ры 96°C . В гальванотехнике для изготовления нерастворимых анодов применяют сплав, содержащий 13% Si, 7% Сг и 5% Мп. Добавка небольших количеств молибдена или вольфрама повышает коррозионную стойкость сплавов. Большая отражательная способность полированной поверхности сплавов, содержащих 30% Сг и

Химический состав кобальта сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %							
	Со	W	Fe	Cr	Mo	Nb	Ni	Прочие
Жаропрочные сплавы								
№ 1	65	—	1	27	5	—	2	0,25 С
№ 2	40	—	—	23	5	—	32	0,4 С
№ 3	45	4—5	—	20	20	4—5	4—5	0,05 С
№ 4	42—44	4	4	20	4	4	20	0,4 С
Магнитные сплавы								
Викаллой П	52	—	35	—	—	—	—	13 V
№ 1	41	—	—	—	—	—	24	35 Cu

2% W, используется для изготовления рефлекторов дуговых ламп и др. подобной аппаратуры. Кобальт (2—20%) входит в состав спеченных (металлокерамических) *твердых сплавов* марок ВК, ТК и ТКВ, а также др. твердых, жаропрочных, коррозионностойких и магн. сплавов. Железо-кобальт-никелевые сплавы с добавкой титана применяют в радиолампах, как заменитель платины. По сравнению с платиной они менее дорогостоящие, допускают снижение т-ры эмиссии почти на 200° С. Широкий предел магн. превращения подобных сплавов делает их пригодными при изготовлении магн. терморегуляторов. Кобальт-хром-никель-марганцевые сплавы (с содержанием до 50% Со) хорошо сопротивляются *термической усталости*, их можно обрабатывать давлением.

Лит.: Справочник по машиностроительным материалам, т.2. М., 1959; П е р е л ь м а н Ф. М., З в о р ы к и н А. Я. К о б а л ь т и н и к е л ь. М., 1975.

Н. Г. Дешевых, А. Г. Шукин.

КОБАЛЬТИРОВАНИЕ — нанесение на поверхность металлических изделий слоя *кобальта*. Кобальтовые покрытия защищают изделия от *коррозии металлов*, придают им декоративный вид, повышают *твердость* и *износостойкость*. Перед нанесением покрытия поверхность изделий обезжиривают в горячих щелочных растворах с добавками эмульгаторов, очищают от окислов *травлением* в серной или соляной к-те, изделия промывают в проточной воде, образовавшийся на них шлам удаляют, после чего их поверхность активируют в разбавленной серной или соляной к-те. Различают К. электрохимическое и химическое. Э л е к т р о х и м и ч е с к о е К. заключается в осаждении кобальта (прим. из кислого раствора сернокислого кобальта или двойной сернокислоаммониевой его соли) на катоде, аноды — из чистого металлического кобальта. К раствору иногда добавляют соли щелочных металлов — для повышения *электропроводности*, хлориды — для активирования анодов и борную к-ту — в качестве буферного соединения, поддерживающего постоянное значение pH. Примерный состав электролита (г/л):

$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 500$; $\text{NaCl} - 15$; $\text{H}_3\text{BO}_3 - 45$; pH ~ 5. Т-ра электролита 20—45° С. Плотность тока на катоде 2—10 а/дм². Выход кобальта по току при плотности тока до 4 а/дм² составляет 100%, при более высокой плотности выход снижается. Х и м и ч е с к о е К. осуществляют восстановлением ионов кобальта из щелочного раствора его соли с помощью гипофосфита, а также борсодержащих соединений (напр., боргидридов щелочных металлов) при т-ре 90—98° С. Кроме соли кобальта и восстановителя, в раствор вводят комплексообразующие вещества и буферные соединения. Покрытия, получаемые из растворов с гипофосфитом, содержат фосфор (2—6%); покрытия, выделяемые из растворов с борсодержащими соединениями, содержат бор (2—10%). Такие покрытия обладают особыми магн. св-вами и используются преим. в качестве материала для магн. записи в запоминающих устройствах электронных вычислительных машин. Кроме того, твердость этих покрытий (особенно борсодержащих) выше твердости металлургического и электролитического чистого кобальта. Твердость покрытий значительно возрастает после термической обработки, достигая максимума у сплава кобальт — фосфор при т-ре 250—400° С и у сплава кобальт — бор при т-ре 300—500° С (до 1270 НV). Максимум твердости объясняется возникновением дополнительных напряжений и *дисперсионным твердением* при выделении фаз Co_2P , Co_3B и Co_2B . Снижение в дальнейшем твердости обусловлено *релаксацией* внутренних напряжений и *рекристаллизацией*. Примерный состав одного из растворов для покрытий кобальт — фосфор (г/л): $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O} - 30$; $\text{KH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} - 22$; лимоннокислого натрия — 100; $\text{NH}_4\text{Cl} - 50$; pH ~ 9,0. Т-ра раствора 90° С. Состав другого раствора (моль/л): $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 0,15$; $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} - 0,19$; лимонной к-ты — 0,15; $\text{NH}_4\text{Cl} - 0,8$; pH ~ 9,0. Т-ра раствора 90° С. Скорость образования покрытий 4—6 мкм/ч. Примерный состав одного из растворов для покрытий кобальт — бор (г/л): $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 20$; $\text{NaBH}_4 - 1$; $\text{NaOH} - 40$; лимоннокислого натрия — 100; этилендиамина — 60;

$\text{H}_2\text{N}_4\text{Cl} = 10$; $\text{pH} \approx 14$. Т-ра раство-
ра 60°C . Скорость образования по-
крытий 5—6 мкм/ч . Для К. использу-
ют стационарные ванны-электролизе-
ры из листовой стали, футерованные
изнутри резиной, пластмассой и др.
кислотостойкими материалами.

Лит.: Лайнер В. И., Кудряв-
цев Н. Т. Основы гальваностегии, ч. 2.
М., 1957; Нанесение металлических по-
крытий химическим способом. К., 1966;
Физико-химические основы процесса хими-
ческого кобальтирования. М., 1974.

Н. Т. Кудрявцев.

КОБАЛЬТОВАЯ СТАЛЬ — сталь, в
которой основным легирующим эле-
ментом является кобальт. Использо-
уется с начала 20 в. Кобальт (10—
15%) почти не влияет на концентра-
цию углерода в перлите и на т-ру
полиморфных превращений (см. *По-
лиморфизм*) в стали, не повышает т-ру
критических точек во время нагрева
и охлаждения. При содержании до
6% кобальт, повышая коэффициент
диффузии в аустените или не изме-
няя его (при большом количестве),
увеличивает критическую скорость
заковки до охлаждения и уменьшает
закаливаемость. Если т-ра заковки
повышается до 1200°C , твердость
стали не только не увеличивается,
но даже снижается по сравнению с
твердостью углеродистой стали с
таким же содержанием углерода.
Если сталь, наряду с кобальтом
(~ 5%), легируют ванадием (0,5—
2,5%), вольфрамом (10—20%) и хро-
мом (3—4%), то кобальт в ней почти
полностью находится в твердом рас-
творе, упрочняя металлическую осно-
ву. Кроме того, он увеличивает рас-
творимость сложных высоколегиро-
ванных карбидов, основа стали обога-
щается углеродом, ванадием, воль-
фрамом и хромом, вследствие чего
увеличивается эффект дисперсионного
твердения и сталь сохраняет высокую
твердость после отпуска (с т-ры 560 —
 580°C). С увеличением содержания
кобальта повышается количество ос-
таточного аустенита, к-рый нестойк
и распадается при отпуске с образо-
ванием мартенсита. Различают К. с.
быстрорежущую (см. *Быстрорежу-
щая сталь*) и магнитную (см. *Маг-
нитная сталь*). Для улучшения ре-
жущих св-в бы стр е ре ж у щ у ю
К. с. закаляют при т-ре, к-рая на
 400 — 450°C превышает т-ру крити-
ческой точки A_1 . Высокая т-ра за-

ковки необходима, чтобы возможно
полнее растворить избыточные кар-
биды и перевести в твердый раствор
больше углерода, ванадия, вольфра-
ма и хрома. Чем выше т-ра нагрева,
тем ниже т-ра начала и конца мар-
тенситного превращения и тем боль-
ше в структуре сохраняется остаточ-
ного аустенита. Излишняя выдержка
(более 5—6 сек на 1 мм толщины из-
делия) при т-ре заковки, как и повы-
шение т-ры нагрева, приводит к пе-
регреву (см. *Перегрев металла*), что
понижает твердость и теплостой-
кость инструмента. Чтобы не вызвать
больших тепловых напряжений,
быстрорежущую К. с., отличающуюся
низкой теплопроводностью, мед-
ленно нагревают до т-ры 820 — 850°C
в соляных ваннах с одним или с двумя
подогревами. Затем закаленную
сталь подвергают отпуску, при кото-
ром 70—80% остаточного аустенита
переходит в мартенсит, твердость
стали повышается и структура ста-
новится более стабильной. Одновре-
менно с распадом остаточного аус-
тенита происходит выделение карбидов
(при т-ре 400 — 450°C), вызывающих
дисперсионное твердение стали. Для
наиболее полного распада остаточ-
ного аустенита и получения вторичной
твердости применяют многократный
отпуск, который можно заменить
однократным, если непосредственно
после заковки сталь обработать хо-
лодом (см. *Холодом обработка ме-
таллов*) при т-рах 80 и 100°C . К. с.
марок Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5 и
Р18К5Ф2 после заковки и отпуска
обладает высокой твердостью (66—
68 HRC) и повышенной теплостой-
костью (т-ра около 630 — 650°C).
Из стали таких марок изготавливают
инструменты для резания изделий
из кислотостойкой стали и жаро-
прочной стали аустенитного класса,
обработка которых инструментом из
других быстрорежущих сталей за-
труднена. Магнитная К. с. ма-
рок ЕХ5К5 и ЕХ9К15М характе-
ризуется высокой коэрцитивной си-
лой (100—150 э) и остаточной индук-
цией (9000 — 10 000 гс). Термическую
обработку магн. стали проводят
с особой точностью, поскольку коли-
чество остаточного аустенита и рас-

пределение карбидов сильно влияют на магн. св-ва. Высокотемпературной закалкой (т-ра 1200° С) в раствор переводят максимально возможное количество карбидов, после чего сталь имеет практически полностью аустенитную структуру. Непродолжительным промежуточным *отжигом* при т-ре до 750° С создают исключительно тонкое распределение карбидов. Последующей закалкой с т-ры 900—1000° С можно получить структуру мартенсита почти без остаточного аустенита. Такая сталь отличается хорошими магн. св-вами, в особенности высокой коэрцитивной силой. В зависимости от структуры, полученной в литом или катаном состоянии, добиваются хороших магн. св-в и после однократной заковки. Магн. сталь хорошо поддается резанию, из нее изготавливают (прокаткой, ковкой или литьем) различные магниты. Мощность литых магнитов почти такая же, как и кованых. Марки и хим. состав быстрорежущих К. с. приведены в ГОСТах 9373—60, 5950—63 и 5952—63, магн. К. с. — в ГОСТе 6862—71.

Лит.: Довгалевский Я. М. Сплавы для постоянных магнитов. М., 1954; Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. 2. М., 1962; Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., 1975; Гудермон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966.

Н. И. Матюшенко.

КОБАЛЬТОВЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы кобальта неправильной формы. Применяется со второй половины 19 в. К осн. способам получения порошка (табл.) относятся электролитический и карбонильный. Возможно получение порошка и восстановлением окиси кобальта (Co_2O_3), а также распылением расплавленного металла (промышленного распространения распыление не получило). Электролитический способ заключается в восстановлении ионов кобальта при плотности тока, превышающей предельное значение. В процессе электролиза на катоде образуется порошок, состоящий из кристалликов кобальта, ссыпавшихся на дно электролизера. Меняя условия электролиза (катодную плотность тока, кислотность, концентрацию раствора, т-ру и др.), получают порошок

с размером частиц $1 \div 200$ мкм. Средний размер частиц 30—50 мкм. Вторичную термообработку проводят в среде водорода при т-ре 900° С, резко изменяя физ.-хим. свойства порошка. Карбонильный способ состоит в термическом разложении паров октакарбонила дикобальта по схеме $\text{Co}_2(\text{CO})_8 = 2\text{Co} + 8\text{CO}$ при атм. давлении в среде различных газов (азота, водорода, окиси углерода и др.) и т-ре 200—300° С. Разложе-

Химический состав кобальтовых порошков

Марка порошка	Содержание элементов, %					
	Co	Fe	Si	Ni	C	Cu
ПК-1	99,2	0,2	0,03	0,4	0,02	0,05
ПК-2	98,2	0,5	0,05	1,0	0,05	0,10
ПКВ	97,0	—	—	—	0,50	—
ПКВВ	99,9	—	—	—	0,05	—

Примечание: Порошки марок ПК-1 и ПК-2 — электролитические, марок ПКВ и ПКВВ — карбонильные.

ние происходит в свободном объеме цилиндрического аппарата. Средний размер частиц $0,1 \div 5$ мкм, насыпная масса 0,3—2,0 г/см³. Способ восстановления заключается в прокаливании при т-ре 600—800° С смеси окиси кобальта с коксом или древесным углем (часто с добавкой карбоната кальция для связывания серы) и измельчении этой смеси. Порошок, полученный этим способом, содержит 96—98% Co, до 1,6% Ni, до 0,1% Fe, следы меди, менее 0,02% S. Для получения порошка с содержанием металла более 99% окись кобальта восстанавливают водородом при т-ре 500—700° С. Размер частиц $30 \div 200$ мкм. К. п. применяют в производстве постоянных магнитов, спец. магн. сплавов, конструкционных, твердосплавных и спеченных изделий, как эффективный *катализатор*. К. п. выпускают в соответствии с ГОСТом 9721—61.

Лит.: Сыркин В. Г. Химия и технология карбонильных материалов. М., 1972; Юрьев Б. П., Привалова А. М., Забелин И. В. Получение порошка кобальт — вольтрам электролизом водных растворов. «Порошковая металлургия», 1973, № 11.

В. Г. Сыркин.

КОВАР (от *ко(бальт)* и англ. (in) var(iable) — неизменный, постоянный) — железоникелькобальтовый сплав с заданным температурным коэффициентом линейного расширения. Впервые получен в США в 1929. В СССР выпускают К. марок 29НК и 29НК-ВИ (табл.). Хим. состав К.: 28,5—29,5% Ni; 17,0 — 18,0% Co; не более 0,03% С, 0,3% Si, 0,4% Mn, 0,020% S, 0,020% P; остальное железо. Сплав представляет собой одно-

фабрикаты в виде лент толщиной $0,02 \div 1,35$ мм, проволоки диаметром $0,1 \div 3,5$ мм, прутков диаметром $1,0-110$ мм и полос толщиной $2,8 \div 22$ мм. Хим. состав К. определяется ГОСТом 10994—64. Лит.: Прецизионные сплавы с особыми свойствами теплового расширения и упругости. М., 1972; Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Эспе В. Техно-

Свойства ковара

Марка сплава	D , г/см ³	$t_{пл}$, °C	λ , ккал/см·сек× × град	ρ , ом·мм ² /м	$\alpha \cdot 10^6$ (при тем- пературе $20 \div$ $\pm 500^\circ$ C), град ⁻¹	E , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	ψ , %
29НК и 29НК-ВИ	8,2	1450	0,04	0,5	5,9—6,4	14 500	36,0	35	70

Примечание: Сплав марки 29НК-ВИ отличается от сплава марки 29НК ограниченным содержанием газов: не более 0,008% O₂, 0,01% N₂ и 0,001% H₂.

фазный *твёрдый раствор* с границированной кубической решеткой, стойкой к фазовым превращениям до $t_{ры} = 70^\circ$ C. Хорошо соединяется пайкой с тугоплавким стеклом. Выплавляют К. в индукционных печах. Сплав используют в произ-ве радиоэлектронных ламп, полупроводниковых приборов, интегральных схем, для «согласованных» по термическому расширению соединений со стеклами марок С49-1, С49-2, С48-1, С47-1 и др. Из К. выпускают полу-

логия электровакуумных материалов, т. 1. Пер. с нем. М., 1962. А. И. Захаров.

КОВКИЙ ЧУГУН — чугун, характеризующийся повышенной пластичностью. Используется для изготовления изделий литьем и не подвергается ковке. Способность воспринимать ударные знакопеременные нагрузки обусловлена его высокими пластичными св-вами, которыми не обладают *белый чугун и серый чугун*. К. ч. получают *отжигом* белого чугуна при t -рах $900-1000^\circ$ C (первая стадия) и

Таблица 1. Химический состав ковких чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
				не более		
КЧ30-6	2,7—3,1	0,7—1,1	0,3—0,6	0,18	0,12	0,06
КЧ33-8	2,5—2,9	0,8—1,2	0,3—0,6	0,18	0,12	0,06
КЧ35-10	2,4—2,8	0,9—1,4	0,3—0,5	0,18	0,12	0,06
КЧ37-12	2,2—2,5	1,0—1,5	0,3—0,5	0,18	0,12	0,06
КЧ45-6	2,4—2,8	0,9—1,5	0,3—0,6	0,12	0,12	0,06
КЧ50-4	2,4—3,0	0,9—1,6	0,3—1,2	0,12	0,12	0,08
КЧ56-4	2,4—3,0	0,9—1,6	0,3—1,2	0,12	0,12	0,08
КЧ60-3	2,4—3,0	0,9—1,6	0,3—1,2	0,12	0,12	0,08
КЧ63-2	2,4—3,0	0,9—1,6	0,3—1,2	0,12	0,12	0,08

730—670° С (вторая стадия) в течение всего цикла — 20—80 ч. Такой чугун характеризуется высокими прочностью, пластичностью, коррозионной стойкостью и износостойкостью, хорошими литейными св-вами (табл. 1, 2 сс. 601, 602). Обработывают К. ч. режущим инструментом. В процессе отжига (в две стадии) белого чугуна на ковкий происходит разложение цементита на углерод отжига (*графит*) и аустенит. Реакция разложения протекает при высокой т-ре (900—1000° С) и обусловлена нестабильностью цементита. Первичные кристаллы цементита, возникшие из расплава при охлаждении чугуна, постепенно растворяются в аустените, повышенная концентрация углерода. Углерод отжига, характеризующийся хлопьевидной формой, выделяется из твердого раствора гамма-железа в микропустоты или на подкладки инородных включений (*окислов, сульфидов и нитридов*), размещающихся по границам зерен. В зонах аустенитного зерна, где выделился углерод отжига, резко уменьшается концентрация углерода. Градиент концентрации углерода и железа вызывает два противоположно направленных диффузионных потока: атомов углерода — от цементита к углероду отжига, а атомов железа — от углерода отжига к цементиту, что влечет за собой распад цементита до полного исчезновения зерен первичного цементита. На этом завершается первая стадия отжига; структура отожженного чугуна состоит из аустенита и углерода отжига. При медленном охлаждении содержание углерода в аустените уменьшается до 0,8%. Ниже т-ры 738° С (см. *Диаграмма состояния железо — углерод*) кристаллическая гранецентрированная кубическая решетка гамма-железа превращается в центрированную кубическую решетку альфа-железа. Вследствие этого растворенный в гамма-железе углерод выделяется не в форме графита, а как хим. соединение Fe_3C — в виде тончайших удлиненных кристаллов вторичного цементита, окруженных осн. массой альфа-железа (*феррита*). Смесь этих кристаллов (*перлит*) при нагреве выше

т-ры 738° С снова переходит в аустенит, поэтому во второй стадии отжига т-ру всего периода выдерживают в интервале 730—670° С, т. е. ниже т-ры 738° С. Для повышения пластичности чугуна после первой стадии отжига проводят вторую, что дает возможность разложить вторичный цементит, находящийся в кристаллах перлита. Реакция разложения протекает при т-ре 730—670° С и занимает почти половину времени всего цикла отжига. Полное охлаждение с первой стадии отжига приводит к образованию чугуна, структура к-рого состоит из перлита и углерода отжига. Излом чугуна белый, вследствие чего такой чугун называют белосердечным.

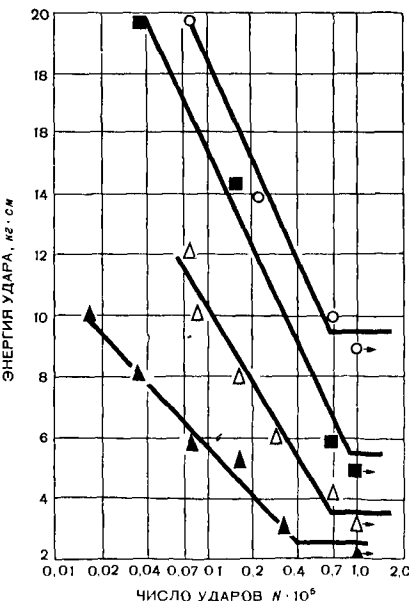
Структура ферритного черносердечного чугуна (излом черный, бархатистый) состоит из феррита с включениями углерода отжига, преим. ориентированного по границам зерен бывшего цементита и аустенита, а после второй стадии отжига — по границам зерен феррита. Белосердечный чугун отличается пониженной пластичностью и более высокой прочностью и твердостью, чем черносердечный. К. ч. с зернистым перлитом обладает высокой прочностью при высокой пластичности, а также хорошей обрабатываемостью режущим инструментом, что позволяет использовать его для изготовления высоконагруженных деталей. Высокая пластичность способствует значительной стойкости при ударных знакопеременных нагрузках. Ударно-усталостная прочность чугуна с зернистым перлитом значительно выше ударно-усталостной прочности ферритного

Таблица 2. Свойства ковких чугунов

Марка чугуна	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	НВ
КЧ30-6	30	6	163
КЧ33-8	33	8	149
КЧ35-10	35	10	149
КЧ37-12	37	12	149
КЧ45-6	45	6	201
КЧ50-4	50	4	229
КЧ56-4	56	4	229
КЧ60-3	60	3	229
КЧ63-2	63	2	241

(рис.), несмотря на несколько пониженную пластичность. К. ч. с зернистым перлитом получают из белого чугуна того же хим. состава, что и бело- и черносердечный чугуны, дополнительной термической обработкой. Для этого белый чугун нагревают до т-ры 950—1020° С и выдерживают в течение 5—8 ч до полного разложения первичного цементита и получения структуры, состоящей из графита отжига и аустенита. Затем его охлаждают до т-ры 700° С или ниже. При такой т-ре весь аустенит переходит в перлит. После этого чугун нагревают вновь (до т-ры 700° С) или оставляют в той же печи (если можно сохранить т-ру $700 \pm 10^\circ \text{С}$), чтобы пластинчатый перлит превратился в зернистый. К. ч. с зернистым перлитом получают также из черносердечного (ферритного) чугуна, подвергая нагреву до т-ры

Зависимость ударно-усталостной прочности ковкого чугуна от структуры: \circ — с зернистым перлитом ($\sigma_B = 60 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 8\%$); \blacksquare — с пластинчатым перлитом ($\sigma_B = 60 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 3\%$); \triangle — феррито-перлитного ($\sigma_B = 38 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 10\%$); \blacktriangle — ферритного ($\sigma_B = 34 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta = 12\%$). Значки со стрелками показывают величину энергии удара, при которой образцы не разрушаются после 100 000 ударов.



920—930° С и выдерживая 3—4 ч для полного превращения феррита в аустенит. Затем чугун охлаждают до т-ры 700° С или ниже, чтобы из аустенита образовалась ферритоцементитная смесь (перлит). В процессе выдержки (3—4 ч) при т-ре 700° С цементитные пластинки перлита округляются, в утоненных местах разобщаются, превращаясь в цепочку округлых зерен, окруженных ферритом. Такая специфичность структуры обуславливает высокую прочность и пластичность К. ч. с зернистым перлитом. Отжиг чугуна осуществляют в печах различных конструкций на твердом, жидком и газообразном топливе, а также в печах с электр. нагревом. Отливки из белого чугуна загружают в печи отжига в коробках с балластом (песком) во избежание коробления и подомок или без балласта, когда отжигают мелкие детали, или укладывают отливки в стопки на поддоне печи. Сокращение цикла отжига достигается улучшением работы и конструкции печей, совершенствованием технологии литья и самого процесса отжига. Интенсификация процесса графитизации при отжиге способствует модифицированию чугуна при разливке его в формы. В жидкий чугун вводят небольшое количество (0,1—0,2% от массы жидкого металла) алюминия, бора, висмута, кремния, теллура и др. элементов отдельно или в различных сочетаниях. Под влиянием модификаторов при затвердевании чугуна образуются мелкие первичные кристаллы аустенита и цементита, что способствует более быстрому завершению первой стадии отжига, поскольку мелкие зерна цементита быстрее распадаются, чем крупные. Кроме того, модификаторы уменьшают стабильность цементита и нейтрализуют влияние стабилизирующих цементит примесей. Длительность отжига сокращается до 12 ч, если под струю выливаемого в ковш металла вводят модификатор (0,1—0,3% от массы жидкого металла), состоящий из смеси порошков ферросилиция Si 75 (60%) и технической борной кислоты (40%). Кремний связывает азот в нитриды, не допуская перехода

его в цементит. С кислородом он образует окись кремния, частицы которого увеличивают число центров кристаллизации, что приводит к образованию мелкозернистой первичной структуры чугуна. Оставшийся кремний растворяется в аустените, способствуя уменьшению растворимости углерода в аустените на первой стадии отжига и в феррите на второй стадии, что повышает скорость диффузии атомов углерода от цементита к углероду отжига на обеих стадиях отжига. Борная кислота разлагается под воздействием высокой т-ры чугуна. Пузырьки газа, водяного пара и окиси углерода способствуют удалению растворенных в чугуном газов водорода и азота, понижая стабильность цементита. Часть атомарного бора образует тугоплавкие нитриды и окислы бора с примесями чугуна, что повышает число центров кристаллизации и обеспечивает его мелкозернистую структуру. Часть атомарного бора входит в состав цементита, где бор нейтрализует хром, повышая активность углерода, и уменьшает стабильность цементита. К. ч. используют в тракторах, авто- и сельскохозяйственном машиностроении и в др. отраслях промышленности. Из него изготавливают коленчатые и распределительные валы, поршни дизельных двигателей, коромысла клапанов, детали сцепления и др. изделия. Марки и хим. состав К. ч. приведены в ГОСТе 1245—59.

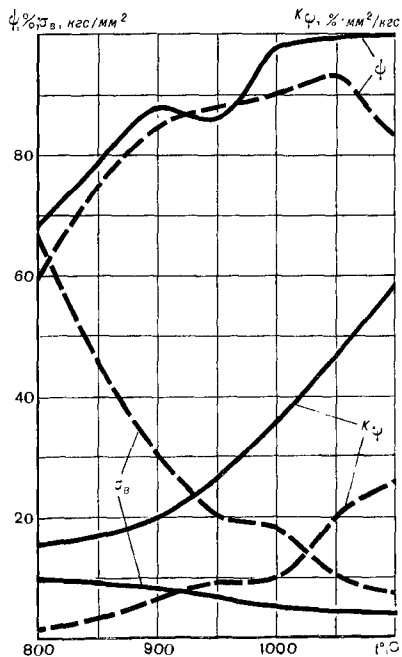
Лит.: Богачев И. Н. [и др.]. Справочник литейщика. М., 1961; Справочник по чугунному литью. М.—Л., 1961; Гуляев А. П. Металловедение. М., 1966; Фоминых И. П., Спиртус Г. А. Ударно-усталостная прочность ковкого чугуна с зернистым перлитом. «Литейное производство», 1975, № 4.

КОВКОСТЬ — св-во металлов (сплавов) изменять форму или размеры при ковке и объемном штамповании. Сравнивая возможности обработки металлов давлением, учитывают как их пластичность, так и прочность (сопротивление деформированию). К. характеризуется показателем ковкости, численное значение к-рого находят по Φ -ле

$$K_{\psi} = \frac{\psi}{\sigma_B} \left(\text{или } K_{\delta} = \frac{\delta}{\sigma_B} \right).$$

Показатель ковкости при высокой т-ре характеризует склонность металлов к упрочнению и разупрочнению; работу, затраченную на смещение единицы объема без нарушения сплошности; тепловой эффект и др. Чем выше прочность при ковочных т-рах, т. е. чем больше межатомные силы сцепления, тем меньше склонность металлов к рекристаллизации и, следовательно, больше локальность деформации, величина растягивающих напряжений и меньше ковкость. Чем ниже прочность, тем полнее и в большем объеме проходит рекристаллизация, равномернее деформация, меньше ее локальность, величина растягивающих напряжений и, следовательно, больше ковкость. У некоторых жаропрочных сплавов на никелевой основе рекристаллизация и разупрочнение не наступают даже при т-ре 1050° С, тогда как у простых конструкционных углеродистых сталей эти процессы происходят уже при т-ре

Зависимость показателя ковкости, пластичности и предела прочности конструкционной стали марки 20Х (сплошные линии) и жаропрочного сплава марки ХН70ВМЮТ (штриховые линии) от температуры.



600° С. К. зависит от природы, хим. состава и *структуры металла*, а также от т-ры, скорости деформации и схемы напряженного состояния. Высоколегированные жаропрочные сплавы отличаются средней и даже (при определенной т-ре) высокой пластичностью, но в то же время очень высокой прочностью, вследствие чего их К. низка. Сплавы в литом состоянии менее пластичны, а следовательно, и менее ковки, чем в деформированном. Снижают К. сера, фосфор, сурьма, кадмий, свинец и др. хим. элементы, образующие легкоплавкие соединения, а также газы (кислород, водород и азот), образующие неметаллические соединения — *окислы, гидриды и нитриды*. Повышение т-ры нагрева до определенной границы способствует уменьшению прочности и увеличению пластичности, а следовательно, увеличению ковкости. При *перегреве металла* К. снижается. С повышением скорости деформирования (как правило, при т-рековки) растет прочность, снижается пластичность и уменьшается ковкость. Объемное неравномерное сжатие, когда главные напряжения σ_1 , σ_2 и σ_3 — сжимающие, повышает ковкость. Наличие растягивающих напряжений снижает ее. Ковка — протяжка в вырезных бойках, штампование в закрытых штампах, осадка заготовок с $\frac{D}{H} > 1$ обуславливают более высокую К. по сравнению с протяжкой в плоских бойках и осадкой заготовок с $\frac{D}{H} < 1$. К. улучшают

подготовкой поверхности деформируемого металла. Слитки, поверхность к-рых поражена дефектами (см. *Дефекты металлов, Концентрация напряжений*), перед ковкой обтачивают. Если же дефекты возникают в процессековки, их удаляют вырубкой «нагорячо», либо металл охлаждают, после чего дефектные участки удаляют зачисткой на наждачных станках, вырубкой пневматическими зубилами или огневым способом. Слитки с низкой К. в области т-р 20—850° С помещают в печь при невысокой т-ре, к-рую затем медленно повышают во избежание нежелательных термических напряжений, снижающих пластичность. При т-ре началаковки слитки выдерживают в печи достаточно долго, с тем чтобы успели произойти диссоциация упрочняющих фаз (*карбидов, интерметаллидов*), их растворение в осн. фазе, рекристаллизация и, как следствие, повысилась ковкость. Значение показателя К. при т-ре 900° С у жаропрочного сплава марки ХН70ВМЮТ в четыре раза ниже, чем у конструкционной стали марки 20Х, хотя их пластичность одинакова (рис.). При ковке эти материалы ведут себя различно. Сталь куется практически с неограниченной деформацией в широком интервале т-р (1260—700° С), а сплав способен выдерживать только небольшие деформации в узком интервале т-р (1180—900° С). По мере усложнения хим. состава стали (сплава) пластичность мало изменяется,

Показатели пластичности, прочности и ковкости сплавов

Марка сплава	ψ, %	σ _В , кгс/мм ²	$\frac{K_{\psi} \cdot \% \cdot \text{мм}^2}{\text{кгс}}$	ψ, %	σ _В , кгс/мм ²	$\frac{K_{\psi} \cdot \% \cdot \text{мм}^2}{\text{кгс}}$
	при температуре 1000° С			при температуре 1100° С		
Ст.3	100	4,4	22,8	100	3,2	31,2
Ст.45	100	5,1	19,6	100	3,5	28,6
18ХНВА	91	4,8	19,0	100	3,2	31,4
12Х2Н4А	100	5,50	18,2	100	4,3	23,3
1Х13	90	5,4	16,7	96	3,4	28,2
3Х13	97	7,8	12,4	98	4,4	22,2
Х18Н25С2	88	7,7	11,4	96	4,5	21,4
ХН77ТЮР	94	10,0	9,4	98	8,0	12,2
ХН70ВМЮТ	88	35,0	2,5	92	8,0	11,5

тогда как в результате увеличения предела прочности на растяжение показатель K снижается (табл. на с. 605). Экспериментальные методы определения K сводятся к измерению показателей пластичности и прочности, после чего значение показателя K вычисляют по ф-лам. На практике обычно используют испытания на растяжение и кручение при различной т-ре (600—1300° С) и скорости деформации (статистические и динамические условия). Вначале образец доводят до разрушения, а затем по образцу или индикаторным диаграммам находят показатели пластичности, в т. ч. количество скручиваний, которое выдерживает образец при кручении до разрушения, показатели прочности или макс. крутящий момент, предшествовавший разрушению образца.

Лит.: Унксов Е. П. Пластическая деформация при ковке и штамповке. М.—Л., 1939; Прозоров Л. В. Ковка высоколегированных сталей. В кн.: Прогрессивная технология кузнечно-штамповочного производства. М.—Л., 1952; Бережковский Д. И. Критерий способности металла в ковке и объемной штамповке. «Вестник машиностроения», 1967, № 4; Марочник стали и сплавов. М., 1971.

Д. И. Бережковский.

КОГЕЗИЯ (от лат. *cohaesus* — связанный, сцепленный) — сцепление и связь между находящимися в контакте поверхностями двух однородных по составу (твердых или жидких) тел (фаз). Обуславливается силами притяжения между молекулами, создавая контакт определенной прочности. Если тела по составу неоднородны, явление наз. *адгезией*. Прочность когезионного сцепления максимальна при контактировании двух однородных жидкостей, поскольку между ними устанавливается совершенный контакт и выделяется вся *поверхностная энергия* соприкасающихся поверхностей. В этом случае прочность когезионного

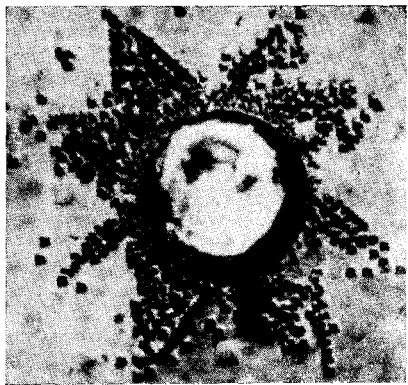
сцепления $P_x \approx \frac{2\alpha}{a}$, где α — поверхностная энергия жидкости; a — межатомное расстояние. В твердых телах когезионная прочность зависит от взаимной ориентации кристаллических решеток соприкасающихся тел, от геометрического со-

вершенства (отшлифованности) и чистоты их поверхностей. Максимальной когезионная прочность твердых тел может быть $P_T \approx$

$$\approx \frac{\alpha_{10} + \alpha_{20} - \alpha_{12}}{a}, \text{ где } \alpha_{10} \text{ и}$$

α_{20} — соответственно энергия соприкасающихся поверхностей; α_{12} — энергия контактной поверхности. Реальная когезионная прочность всегда существенно меньше P_T в связи с тем, что самопроизвольное сцепление тел происходит лишь по части поверхностей — в виде совокупности разобобщенных контактных мостиков. Прочность когезионного сцепления можно существенно увеличить, если приложить внешние усилия, способствующие удалению неровностей с контактирующих поверхностей и повышающие тем самым плотность контактов. Кроме того, прочность возрастает, если твердые тела соединять при повышенной т-ре, когда вследствие диффузионной подвижности атомов (см. *Диффузия*) может полнее осуществляться взаимная «подстройка» контактирующих решеток. В зоне когезионного сцепления кристаллических тел возникают напряжения $\sigma = \epsilon G$, где ϵ — средняя «невязка» контактирующих решеток; G — модуль сдвига. Эти напряжения частично релаксируют (см. *Релаксация*) механизмом возникновения и движения *дислокаций*. Вокруг участков лока-

Дислокационная розетка вокруг зоны когезионного сцепления между крупинкой и монокристаллом хлористого натрия.



изованного сцепления формируются участки повышенной плотности дислокаций — т. н. дислокационные розетки (рис.). Их наличие существенно определяет механизм и кинетику разрушения когезионного соединения. К. используют при холодной и горячей сварке, существенно она и в процессе прессования порошков. Отрицательная роль К. сказывается в увеличении коэфф. внешнего трения.

Лит.: Крагельский И. В. Трение и износ. М., 1968; Гегузин Я. Е. и др. 1. О дислокациях, возникающих при спекании твердых тел («розетки спекания»). «Кристаллография», 1973, т. 18, в. 4; Адам Н. К. Физика и химия поверхностей. Пер. с англ. М., 1947; Erdmann-Jesitzer F., Günther F. Gesetzmässigkeiten bei Wachstumsvorgängen von Kristallen. «Zeitschrift für Metallkunde», 1955, Bd. 46, Heft 11. Я. Е. Гегузин.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ — анализ количественного хим. состава вещества. На основании данных К. а. устанавливают хим. формулы соединений и соответствие материалов требованиям технических условий, ГОСТов и т. п. Различают физ. и хим. методы анализа. В физ. методах о количестве вещества судят непосредственно по измеренной величине какого-либо физ. свойства; реакций не проводят либо они имеют второстепенное значение. В хим. методах исследуемое вещество подвергают действию реагента, вызывающего определенную хим. реакцию; затем измеряют какую-либо физ. характеристику продукта реакции, реагента или анализируемого вещества. **Физические методы** К. а. основаны на измерении *плотности* (денситометрия), *электропроводности* (кондуктометрия), *поглощения света* (фотометрия), *показателя преломления* (рефрактометрия), *вращения плоскости поляризации света* (поляриметрия), *диэлектрической проницаемости* (диэлектрометрия), *потенциала* (потенциометрия), *вязкости*, *т-ры кипения* или *замерзания* и др. Наиболее важным и традиционным физ. методом является *спектральный анализ*, сущность к-рого заключается в измерении интенсивности свечения (спектральных линий), которая определяется концентрацией хим. элемента в анализируемом веществе. Разновидность спектрального анализа —

пламенная фотометрия — применяется преим. для определения щелочных, щелочноземельных и некоторых др. элементов, атомы к-рых начинают излучать свет при сравнительно низкой т-ре пламени. Излучение регистрируется фотоэлементом, сила тока в к-ром при определенных условиях пропорциональна содержанию хим. элемента в пробе. Большое значение приобрел *атомно-абсорбционный спектральный анализ*, в к-ром количественное определение хим. элемента основано на измерении поглощения (абсорбции) света его невозбужденными атомами. В *активационном анализе* вещество облучают элементарными частицами, чаще — медленными нейтронами. После хим. разделения элементов, содержащихся в навеске облученного вещества, измеряют интенсивность радиоактивного излучения каждого хим. элемента (см. *Радиоактивность*), а затем сравнивают ее с интенсивностью излучения тех же элементов в образце, в к-ром известно содержание этих хим. элементов. В *масс-спектральном анализе* образец переводят в газообразное состояние и образовавшиеся сложные газообразные смеси подвергают действию сильных магн. и электр. полей, разделяя на компоненты в соответствии с их атомной или молекулярной массой. В *рентгено-спектральном анализе* вещество наносят на поверхность антикатада рентгеновской трубки, облучают антикатод потоком электронов и измеряют положение и интенсивность линий возбужденного рентгеновского спектра. Для целей К. а. рентгеновский спектр возбуждают также, облучая анализируемый образец первичным рентгеновским излучением с помощью рентгеновской трубки или подходящего радиоактивного изотопа (рентгенофлуоресцентный анализ). Физ. методы анализа применяют чаще всего для определения микроколичеств хим. элементов. Они отличаются высокой чувствительностью и экспрессностью, однако обычно осуществляют их с помощью эталонов, в к-рых содержание элементов установлено

хим. методами. Х и м и ч е с к и е м е т о д ы К. а. основаны на различных принципах. В процессе гравиметрического анализа вещество взвешивают на аналитических весах, переводят в раствор, осаждают определяемый компонент в виде малорастворимого соединения или простого вещества, отделяют от маточного раствора, а затем переводят (высушивая или прокаливая) в устойчивое соединение определенного состава — весовую форму, которую и взвешивают. На основании массы весовой формы вычисляют содержание определяемого компонента в пробе (см. также *Гравиметрический анализ*). Разновидность гравиметрического — *электрогравиметрический анализ*, в к-ром определяемые элементы выделяют из раствора электролизом. В *фотометрических методах анализа* определяемое вещество переводят в раствор и действуют на него реагентом, вследствие чего образуется окрашенный продукт реакции. Интенсивность окраски соединения пропорциональна содержанию данного элемента в пробе. В зависимости от способа измерения интенсивности окраски различают колориметрический анализ, *фотометрический анализ* и *спектрофотометрический анализ*. В первом из них измерение проводят визуально, во втором — фотоколориметрами (приборами, снабженными светофильтрами), в третьем — спектрофотометрами, позволяющими измерять поглощение излучения при определенной длине волны. Главная отличительная особенность фотометрических методов — высокая чувствительность, дающая возможность определять 10^{-6} г вещества и менее. Титриметрический анализ основан на измерении количества реагента, израсходованного на взаимодействие с определяемым веществом. Отличается экспрессностью и возможностью использования хим. реакций различных типов. Осн. ограничения: реакции между определяемым веществом и раствором реактива (рабочим раствором) должны протекать быстро и стехиометрически, в растворе не должно происхо-

дить побочных реакций (см. также *Титриметрический анализ*). Полярографический анализ основан на измерении величины тока, проходящего через анализируемый раствор при наложении на погруженные в него электроды определенного электр. напряжения. Анализ применяется для определения микроколичеств веществ. Он высокочувствителен, дает возможность определять за один прием несколько компонентов смеси (см. также *Полярографический анализ*). В кулонометрическом анализе измеряют к-во электричества, израсходованного на электрохим. превращение определяемых ионов или элементов. Этим методом можно определять очень малые количества вещества — порядка 10^{-7} — 10^{-10} г (см. также *Электрохимические методы анализа*). *Кинетические методы анализа* основаны на определении скорости хим. реакции, пропорциональной концентрации реагирующих веществ или концентрации катализатора. Наиболее распространены каталитические методы, в которых определяют микроколичества (10^{-8} — 10^{-10} г) ионов-катализаторов, напр., молибдена, вольфрама, титана, циркония, ниобия, тантала по их ускоряющему действию на некоторые реакции окисления — восстановления с участием перекиси водорода и др. реакций.

Лит.: Бабко А. К., Пятницкий И. В. Количественный анализ. М., 1968. И. В. Пятницкий.

КОМОЛ [от *ко(бальт)* и *мол(ибден)*] — магнитно-твердый сплав системы железо — кобальт — молибден. Разработан в начале 30-х гг. 20 в. в Германии. К К. относятся также сплавы на основе систем железо — кобальт — молибден — вольфрам и железо — вольфрам — хром (табл.). Сплавы магнитно изотропны, характеризуются высокой *Кюри точкой* ($> 800^{\circ}\text{C}$), высокими гистерезисными свойствами, температурной стабильностью магнитных свойств (в пределах до температуры 500°C). Плотность сплавов $8,1$ — $8,9$ г/см³, после отпуска температурный коэффициент линейного расширения (т-ра 20 — 300°C) составляет $(9,5$ — $12,5)10^{-6}$ град⁻¹, а удельное электрическое сопротивление $0,4$ — $0,55$

0,1 · мм²/м. Изменение содержания кобальта (при 16% Мо) мало влияет на величину остаточной магн. индукции (~10 кс), в то время как *коэрцитивная сила* и магн. энергия (при 12—16% Со) достигают макс. значений — соответственно 230 э и $1,1 \cdot 10^9$ эс · э. Увеличение содержания молибдена (до 20%) приводит к уменьшению остаточной магн. индукции от 11 до 9 кс с одновременным увеличением коэрцитивной силы от 110 до 320 э. Молибден, ванадий и хром склонны к образованию карбидов (с содержащейся в сплаве примесью углерода), что обедняет *твердый раствор* и снижает магн. жесткость сплавов. Оптимальные магн. св-ва сплавы приобретают в результате *закалки* в масле от т-ры 1250—1300° С и *отпуска* при т-ре 650—750° С, при этом происходит *дисперсионное твердение* с образованием соединений типа Fe₃Mo₃. Предел прочности К. после закалки $50 \div 80$ кгс/мм², после отпуска — $60 \div 120$ кгс/мм². К. выплавляют в открытых индукционных печах и получают в основном в виде горячедеформированных прутков, реже — в виде листов и труб. Изделия сложной формы получают литьем в землю. Холодному деформированию сплавы не поддаются. Из горячедеформированных заготовок изделия получают горячим штампованием или резанием. До термической обработки на высококоэрцитивное состояние твердость сплавов составляет 20—40 HRC, после обработки 50—60 HRC. В этом состоянии они поддаются лишь шлифованию. К. используют для изготовления активной части роторов гистерезисных двигателей и гистерезисных муфт с рабочими полями от

30 до 400 э. Сплавы с хромом (без кобальта) не чувствительны к радиации. Марки и хим. состав сплавов приведены в ТУ 14—1—800—73, ТУ 14—1—918—74 и др.

Лит.: Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; В о з о р т Р. М. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956; В о л ь ф а р т Э. Магнитно-твердые материалы. Пер. с англ. М.—Л., 1963.

Н. Н. Потанов.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (от лат. compositio — сочетание) — материалы, которые образованы объемным сочетанием химически разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними. Отличаются свойствами, к-рыми не может обладать ни один из компонентов, взятый в отдельности. В К. м. сочетаются лучшие свойства различных составляющих фаз — *прочность*, *пластичность*, *износостойкость*, *малая плотность* и т. п. Обычно эти материалы состоят из пластичной основы (матрицы), служащей связующим материалом, и включений различных спец. компонентов в виде порошков, волокон, тонкой стружки и частиц др. формы, доступных для смешивания и последующего формования (см. также *Армированные материалы*). Включения обеспечивают прочность и жесткость композиций, а связующий материал — адгезионную связь (см. *Адгезия*) между составляющими материала, передачу нагрузки на частицы наполнителя, а также прочность и пластичность материала как единого целого при воздействии мех. и других нагрузок. Иногда связующий материал предохраняет наполнитель от

Химический состав комолов

Марка сплава	Содержание элементов, %					
	Fe	Co	Mo	W	Cr	Примесей, не более
12KM12	Основа	11,5—12,5	11,5—12,5	—	—	0,75
12KM14	»	11,5—12,5	13,5—14,5	—	—	0,75
12KM16	»	11,5—12,5	15,5—16,5	—	—	0,75
12KMB12	»	11,5—12,5	5,5—6,5	11,5—12,5	—	0,75
12KMB14	»	11,5—12,5	5,5—6,5	13,5—14,5	—	0,75
5XB14	»	—	—	13,5—14,5	4,5—5,5	0,75

агрессивного воздействия окружающей среды. Физико-мех. свойства К. м. в значительной степени зависят от количества частиц упрочняющей добавки, их взаимного расположения, размеров, свойств и силы связи на границе раздела включения — основа. При наличии включений в виде волокон физико-мех. св-ва могут отличаться, в зависимости от их ориентации, на один-два порядка. В К. м., при создании к-рых используется принцип дисперсного упрочнения, повышение прочности достигается созданием барьеров на пути движения *дислокаций*, если на материал действует нагрузка. В конечной структуре К. м. (см. вклейку между сс. 640 и 644) компоненты с ориентированным или хаотичным распределением сохраняют, как правило, индивидуальные св-ва, к-рыми они обладали в исходном состоянии. Для К. м. характерны отсутствие существенного взаимодействия (взаимной *растворимости*) между упрочняющими фазами — волокнами или частицами — и основным материалом как в процессе тепловой обработки при изготовлении, так и при т-ре эксплуатации, а также высокая т-ра плавления, малая плотность, высокая прочность и хим. стойкость компонентов, что и обуславливает стабильность свойств. Осн. типы не-

органические К. м.: металлы, упрочненные волокнами; *дисперсноупрочненные материалы*; спеченные антифрикционные, фрикционные и электроконтактные материалы; спеченные конструкционные материалы (см. *Спеченные материалы*) и *керамико-металлические материалы*. Для упрочнения металлов применяют преим. *нитевидные кристаллы*, металлическую проволоку и металлические поликристаллические волокна окиси алюминия, магния, кремния или др. Малая плотность, высокая прочность и химич. стойкость кварцевых, кварционидных, цирконовых и алюмосиликатных волокон делают их перспективными для армирования металлов. К. м. изготавливают гл. обр. методами порошковой металлургии: шихту из порошков, образующих основу, волокон или др. добавок подвергают смешиванию, прессованию, спеканию (или горячему прессованию), прокатке или др. обработке. После прессования смеси с короткими волокнами образуется структура с хаотичным расположением армирующих добавок, ориентация к-рых может быть придана *экструзией* материала. Возможно получение ориентированных структур и до прессования, непосредственно в пресс-форме, с помощью вибрации, магн. или электр. поля. Компоненты шихты смешивают в спец. барабанах, конусных смесителях или др. устройствах в среде бензина, спирта или в во-

Свойства серебра и композиционных материалов на его основе

Материал образца	Диаметр образца, мм	Температура испытания, °C	σ_B , кгс/мм ²	δ , %
Ag (99,95%)	0,434	24	12,3	48
	1,184	143	9,9	42
	1,022	202	8,2	45
	1,05	282	7,2	40
Ag + Al ₂ O ₃ (дисперсные частицы)	0,127	24	51,0	1,2
	0,127	316	40,5	—
	0,127	482	27,1	—
	0,127	649	17,1	—
Ag + Al ₂ O ₃ (нитевидные кристаллы)	0,153	24	42,9	1
	0,521	302	37,8	1
	0,368	499	34,4	2
	0,226	766	31,8	2

де. Прессование смеси осуществляется в пресс-формах на прессах или молотах, экструзией, прокаткой, вибрационным уплотнением, взрывом и т. д. Формирование физико-мех. св-в материалов завершается при спекании в защитной среде (в водороде, диссоциированном аммиаке и др.) при т-ре, составляющей 0,7—0,8 от абс. т-ры плавления металла основы. Иногда после спекания изделия подвергают повторному прессованию и спеканию, *термической обработке* или *химико-термической обработке* — для дальнейшего улучшения физико-мех. св-в, защиты от коррозии, придания им окончательных размеров и форм. Применение метода горячего прессования при т-ре, составляющей 0,5 — 0,8 от абс. т-ры плавления металла основы, позволяет получать практически беспористые материалы. При изготовлении К. м. пропиткой расплавленными металлами пористых каркасов спрессованный металлический войлок, состоящий из отрезков проволоки или нитевидных кристаллов, либо длинные волокна, уложенные в определенном порядке, нагревают в вакууме или инертной среде, пропитывают расплавленным металлом основы и медленно охлаждают. Пропитываемый металл должен смачивать (но не растворять) волокна, его т-ра плавления должна быть значительно ниже т-ры плавления материала волокон. К. м. получают также электролитическим осаждением компонентов шихты на поверхность металла с последующей термической обработкой, литьем под давлением, в вакууме и центробежным способом. Введение упрочняющих добавок значительно улучшает физико-мех. свойства материалов. Так, медь, армированная волокнами вольфрама (12,5%), не разрушается при т-ре 400° С и нагрузке 16,3 кгс/мм² в течение 1700 ч, в то время как медь, легированная цирконием, разрушается в этих условиях через 700 ч. Усталостная прочность композиции медь — вольфрам (51% волокон вольфрама) при циклическом растяжении на базе 10⁷ циклов составляет 40,8 кгс/мм², что в четыре-пять раз превышает аналогичный показатель для чистой меди. Серебро, упрочненное дисперс-

ными частицами и нитевидными кристаллами окиси алюминия, прочнее чистого серебра при комнатной т-ре. При повышенной т-ре эффект упрочнения еще больше (табл.). Пропитка пучков нитевидных кристаллов окиси алюминия расплавленным алюминием позволила получить материал с прочностью на растяжение 115,3 кгс/мм² (содержание волокон — 35 об. %). У К. м., полученного сплавлением *железного порошка* и войлока из нитевидных кристаллов окиси алюминия (36 об.%) в среде аргона, предел прочности на растяжение составляет 169,3 кгс/мм², что почти в три раза превышает предел прочности на растяжение неармированного железа. Предел прочности на растяжение магния, армированного волокнами нержавеющей стали (27 об. %), повышается в пять раз, а удельная прочность — почти в три раза. К К. м. относятся также *стеклометаллические и фрикционные материалы, уплотнительные материалы*, а также (частично) *антифрикционные материалы*, электроконтактные и конструкционные материалы, изготавливаемые методами порошковой металлургии. К. м. находят применение в авиа- и автомобилестроении, сельскохозяйственном машиностроении, электротехнике и др.

Лит.: Федорченко И. М., Андриевский Р. А. Основы порошковой металлургии. К., 1963; Композиционные материалы волокнистого строения. К., 1970; Современные композиционные материалы. Пер. с англ. М., 1970.

И. М. Федорченко.

КОНВЕРТОРНАЯ СТАЛЬ (от лат. *converto* — изменяю, превращаю) — сталь, выплавляемая в конверторах. Используется со второй половины 19 в. К. с. подразделяют на *бессемеровскую сталь* и *томасовскую сталь*. Получают продувкой расплавленного *перебелного чугуна* сжатым воздухом до следов углерода, в результате сталь насыщается кислородом и азотом (рис. 1, 2 с. 612). Несмотря на применение эффективных методов раскисления, высокое остаточное содержание *газов* приводит к получению стали с низкими физико-мех. св-вами: повышенной

хрупкостью, плохой свариваемостью. Качество К. с. улучшают, заменяя воздушное дутье кислородным или смесью кислорода с паром, природным газом, пропаном и нефтепродуктами, что сокращает продолжительность технологического процесса и уменьшает количество азота, растворяющегося в стали. Такая технология применима только при произ-ве К. с., содержащей более 0,3% С, и совершенно не применима для получения стали с содержанием углерода менее 0,3%. При произ-ве кислородно-конверторной стали чистый кислород подают в конвертор через горловину с помощью водоохлаждаемой фурмы, а смесь кислорода с паром, природным газом, пропаном и нефтепродуктами — через фурмы, расположенные в днище конвертора. Футеровку конвертора делают из основных огнеупоров (магнезитовых или смолдоломитовых), что позволяет перерабатывать чугун с повышенным содержанием серы и фосфора. Флюсующим материалом служит *известь*. Окисление примесей происходит непосредственно в чугуне или через *шлак*, что дает возможность управлять технологическим процессом плавки, в частности шлаковым режимом, не допуская перенасыщения стали газами и *неметаллическими включениями*. Кислородно-конверторная сталь содержит мало вредных примесей, в частности серы и фосфора. По пластическим св-вам, *ударной вязкости* и чувствительности к старению (см. *Старение материалов*) она равноценна *мартевской стали*. Из К. с. изготавливают строительные профили, рельсы, заготовки для проката сварных труб, полосы, листы и изделия, не подвергающиеся нагрузке на растяжение, различные болты и гайки.

Лит.: Гончаренко Н. И. Развитие конвертерного производства. «Металлургическая и горнорудная промышленность», 1960, № 3; Я в о й с к и й В. И. Теория процессов производства стали. М., 1967; Конвертерные процессы производства стали. М., 1970. Н. И. Гончаренко.

КОНГЛОМЕРАТ (от лат. conglomeratus — скопившийся, собранный) — осадочная горная порода, сцементи-

рованная *гальечник*. Синонимы: а н а г е н и т, п с е ф и т, п у д д и н г. По величине обломков различают К. глыбовый, валунный, гальчаниковый и гравелитовый. В зависимости от петрографического состава К. подразделяют на олигомиктовый, характеризующийся сравнительно однородным составом, и полимиктовый, состоящий из окатанных обломков разнообразных пород — изверженных (*гранитов, базальтов* и др.), метаморфических (напр., *кварцитов, сланцев*) и осадочных (*известняков, алевролитов, глин* и др.). Промежутки между окатанными обломками заполнены более мелко-обломочным материалом — *песком, алевроитом* и т. д. По характеру цементации различают К. с миним. содержанием цемента, с тесно соприкасающимися обломками и с цементом базального типа (по составу — кремнистым, известковым, желез-

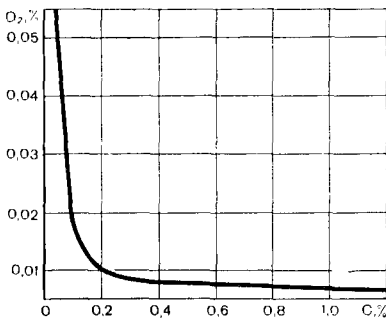
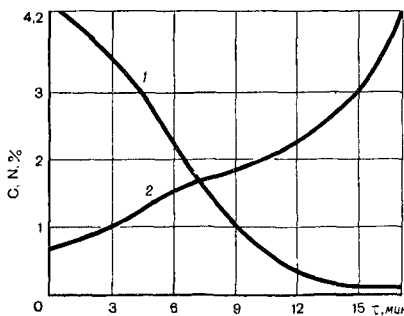


Рис. 1. Зависимость содержания кислорода в конверторной стали от содержания углерода.

Рис. 2. Зависимость содержания углерода (1) и азота (2) в конверторной стали от продолжительности продувки.



тым, глинистым и т. д.). по генетическим признакам К. подразделяют на морские, озерные, речные, ледниковые и субаэральные. Кроме того, К. бывают внутрiformационные и базальные. Внутрiformационные К. залегают в отложениях единой осадочной формации (их окатанность слабая), базальные К. залегают в основании крупных стратиграфических трансгрессивных комплексов (их окатанность хорошая). С К. могут быть связаны нефре- и битумопроявления. В его цементе встречаются золото, платина, алмазы и др. полезные ископаемые. Плохо сцементированный К. используют для приготовления бетона, при строительстве дорог, в качестве железнодорожного балласта. К. некоторых видов применяют как декоративный облицовочный материал.

Лит.: Шведов М. С. Петрография осадочных пород. М.—Л., 1948; Наливкин Д. В. Учение о фациях, ч. 1—2. М.—Л., 1955—56; Вассоевич Н. Б. Крупнообломочные породы. В кн.: Справочное руководство по петрографии осадочных пород, т. 2. Л., 1958; Рухин Л. Б. Основы литологии. Л., 1969.

Г. Н. Орловский.

КОНСТАНТАН [от лат. constans (constantis) — постоянный] — медноникелевый сплав, отличающийся постоянством электрического сопротивления при изменении т-ры. Хим. состав К. (марки МНМц40-1,5): 39—41% Ni; 1—2% Mn; не более 0,1% C; 0,5% Fe; остальное — медь. Этот сплав (табл.) выделяется среди др. металлических сплавов низким температурным коэфф. электросопротивления, легко поддается обработке давлением. Недостаток К. — большая термоэдр в контакте с медью, приводящая при случайном нагре-

ве контакта к появлению в электр. цепи тока, искажающего показания прибора. Поэтому в приборах высокого класса точности применяют *манганин*. К. используют в приборостроении, радиотехнике, электронике и вычислительной технике как материал для резисторов (элементов сопротивления), тензорезисторов (тензодатчиков), позволяющих определять величину упругой деформации детали по изменению электросопротивления. К. производят в основном в виде проволоки. Хим. состав сплава регламентирован ГОСТом 492—73, электр. св-ва — ГОСТом 5307—69.

Лит.: Лит.: Справочник. М., 1969; Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

Л. Л. Жуков.

КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ (от лат. constructio — построение, строение) — прочность материала конструкции с учетом конструкционных, металлургических, технологических и эксплуатационных факторов. Характеризует осн. качества, определяющие надежность (см. *Надежность материалов*), долговечность (см. *Долговечность материалов*) и экономическую эффективность конструкций. К. п. обычно меньше собственно прочности материала, что связано с масштабным фактором прочности, влиянием источников концентрации напряжений и анизотропией материала конструкции. На К. п. влияют методы получения заготовок конструкции

Свойства константана

Марка сплава	D , г/см ³	$t_{пл}$, °C	ρ , ом · мм ² /м	λ , кал/см · сек · X °град	$\alpha_c \cdot 10^5$ (при т-ре 20—100° C), град ⁻¹	Термоэдр (в па- ре с медью), мкв/град	Тензочувстви- тельность	σ_B , кгс/мм ²	δ , %
МНМц40-1,5	8,9	1260	0,48	0,05	2	39	2,0±0,05	40—50	30

Примечание: Данные относятся к термически обработанному сплаву.

(ковка, литье и т. д.), а также способы обработки их (см., напр., *Термическая обработка металлов*, *Термомеханическая обработка металлов*, *Химико-термическая обработка металлов*). При конструировании, напр., литых деталей стремятся создать стенки одинаковой толщины, что при остывании жидкого металла позволит избежать рыхлот, усадочных раковин и местных остаточных напряжений. Общие и поверхностные остаточные напряжения могут понизить или повысить работоспособность детали. Так, *наклеп* поверхности роликами создает сжимающие остаточные напряжения, значительно повышающие усталостную прочность (см. *Усталость материалов*). *Поверхностное упрочнение*, в т. ч. нанесение различных покрытий, увеличивает *износостойкость* и др. эксплуатационные характеристики материала. Значительно влияет на К. п. состояние поверхности, направление обработки, форма микронеровностей, наличие дефектов структуры (местных нарушений хим. состава, *микротрещин* и др.). К. п. увеличивается, если обеспечены заданные режимы эксплуатации (с учетом возможных перегрузок, режимов, связанных с колебательным состоянием, прохождением резонанса и т. д.), ограничены уровни т-р (высоких и низких), исключено попадание посторонних предметов

и т. д. Повышают К. п. оптимальным выбором материала, снижением мех. напряжений (устанавливая оптимальные размеры и формы деталей), надежным фиксированием и центрированием деталей. Иногда определяющими могут быть режимы монтажа и транспортирования. При выборе материала оценивают условия эксплуатации, чтобы наиболее рационально использовать его прочностные св-ва. Большое значение имеют температурные условия, длительность нагружения, хим. воздействие внешней среды, радиационное облучение и т. д. Оптимальный выбор материала основывается на данных о комплексе св-в (прочности, твердости, усталостной и длительной прочности, ползучести, релаксации напряжений, термостойкости, хладостойкости, коррозионной стойкости, эрозионной стойкости, чувствительности к концентрации напряжений, *свариваемости*, т-ре плавления, коэфф. термического расширения, *теплопроводности* и др.) и особенностей поведения материала в конструкции. К. п. оценивают на основе расчетов, используя методы теории упругости, пластичности, ползучести, *выносливости материалов*, методы механики разрушения, а при сложных условиях эксплуатации (энергетическое и транспортное оборудование, летательные аппараты, различные инженерные сооружения) проводят также экспериментальные исследования. Такие иссле-

Таблица 1. Химический состав и свойства низкоуглеродистых легированных кон

Марка стали	Содержание элементов, %						$\sigma_{0.2}$, кгс/мм ²	$\sigma_{0.2}$, кгс/мм ²
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti		
15X	0,12—0,13	—	—	—	—	—	100	80
20XH	0,17—0,23	—	0,45—0,75	1,0—1,4	—	—	120	100
18XГТ	0,17—0,23	0,8—1,1	1,0—1,3	—	—	0,03—0,09	130	110
20XHP	0,16—0,23	0,6—0,9	0,7—1,1	0,8—1,1	—	—	140	120
12X2H4	0,09—0,15	—	1,25—1,65	3,25—3,65	—	—	120	110
18X2H4MA	0,14—0,20	—	1,35—1,65	4,0—4,6	0,3—0,4	—	130	115

Примечания: 1. В хим. составе указаны легирующие элементы, обусловленные 20XHP содержится 0,001—0,005% В. 3. $D_{\text{крит}}$ (критический диаметр) — максимальный диаметр прокаливаемости (90% мартенсита) при закалке в масле. 4. T_{50} — порог хладноломкости, 50% вязкой составляющей после термической обработки. 5. Мех. св-ва (типичные) после пуска при т-ре 180—200° С.

дования и осуществления условий эксплуатации, либо на натуральных образцах. Испытание конструкции и экспериментальная доводка являются важными этапами проектирования. При оценке К. п. учитывают практику машиностроения в различных областях техники.

Лит.: Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. М., 1975; Биргер И. А., Шорр Б. Ф., Шнейдерович Р. М. Расчет на прочность деталей машин. М., 1966; Козлов И. А. Исследование несущей способности элементов роторов турбомашин. К., 1969.

И. А. Козлов.

КОНСТРУКЦИОННАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся конструкционной прочностью и др. мех. св-вами; вид конструкционных материалов. К К. с. относятся углеродистые стали и легированные стали (до 0,6% С). В зависимости от хим. элементов, используемых для легирования, К. с. подразделяют на стали хромистые, марганцовистые, хромомарганцовистые, хромоникелевые и др. Количество легирующих элементов в К. с. составляет обычно 1—4%, реже — > 6%. В зависимости от содержания углерода различают низкоуглеродистую (цементуемую) сталь (до 0,20—0,25% С), чаще всего применяемую после цементации, и среднеуглеродистую (улучшаемую) сталь (0,25—0,5% С), которую обычно применяют после термического улучшения (закалки и высокотемпературного отпуска) (табл. 1, 2). Цементация или

улучшение не являются обязательными режимами термической обработки. Достаточно часто низкоуглеродистую сталь используют после закалки и низкотемпературного отпуска без цементации, среднеуглеродистую сталь — после закалки и низкотемпературного (т-ра $\approx 200^\circ\text{C}$) или среднетемпературного (т-ра 300—400°С) отпуска. После стандартной термической обработки (низкоуглеродистая сталь — закалка и низкотемпературный отпуск, среднеуглеродистая сталь — закалка и высокотемпературный отпуск) предел прочности К. с. чаще всего составляет 100—120 кгс/мм², предел текучести 70—90 кгс/мм², относительное удлинение 15—18%, относительное сужение 55—65%, ударная вязкость 8—12 кгс · м/см². К. с. различных марок отличаются прокаливаемостью, что прежде всего учитывают при выборе марки стали для того или иного изделия. Чем крупнее изделие, тем более высоколегированную и, следовательно, более глубоко прокаливающуюся сталь применяют. Более низкое значение порога хладноломкости обуславливает меньшее охрупчивание стали при ударном воздействии. Если необходимо добиться более высокой прочности (150—180 кгс/мм²), улучшаемые легированные стали подвергают отпуску при более низкой т-ре (400 или 200°С); однако при этом их пластические и вязкие св-ва ухудшаются. Лучших св-в (большей прочности при определенной вязкости и пластичности или большей вязкости и пластичности при определенной прочности) достигают высокотемпературной термохимической обработкой, вакуумированием в ковше и рафинирующими переплавами (вакуумно-дуговым и электроннолучевым), использованием при выплавке чистой шихты (см. Высокопрочная сталь). Различают К. с. качественную, высококачественную и особовысококачественную. В качественной стали содержание фосфора и серы ограничивается 0,035% каждого. Выплавляют такую сталь в мартеновских печах и конверторах. В высокока-

струкционных сталей

δ , %	ψ , %	$\sigma_{\text{ц}}$, кгс \times \times м/см ²	$D_{\text{км}}$, мм	T_{500} , °С
15	60	12	10	—20
12	55	11	20	—40
11	50	9	20	—20
12	50	10	70	—40
14	55	13	>100	—110
15	55	12	>100	—120

марочным обозначением. 2. В стали марки метр, при к-ром обеспечивается сквозная т. е. т-ра, при к-рой в изломе содержится закалки в масле от т-ры 880—900°С и от-

чественной стали содержание серы и фосфора не должно превышать 0,025% каждого. К марочному обозначению такой стали добавляются буквы А. Эту сталь выплавляют гл. обр. в дуговых открытых электр. печах. В особовысококачественной стали фосфора содержится не более 0,025%, серы — не более 0,015%. Поставляют ее после дополнительного электрошлакового переплава, маркируют буквой Ш в конце марочного обозначения. Большая чистота стали ведет к повышению ударной вязкости и понижению порога хладноломкости, т. е. повышает надежность стали как конструкционного материала (см. *Надежность материалов*). На стандартные мех. св-ва, обусловленные ГОСТом и ТУ,

повышение чистоты практически не влияет. Низкое содержание серы после электрошлакового переплава способствует более сильному повышению ударной вязкости, хотя при этом порог хладноломкости не изменяется. Электрошлаковый переплав резко уменьшает количество сульфидных включений (см. *Сульфиды*), обычно располагающихся в виде строчек вдоль прокатки, а это уменьшает *анизотропию* свойств. Более высокая надежность стали достигается вакуумированием, при котором снижается содержание кислорода и уменьшается загрязненность окисными включениями. К. с. поставляют в виде горячекатаных или кованых прутков диаметром до 250 мм, а также в виде *калиброванной стали* и серебрянки в отожженном (отпущенном, нормализованном) состоянии. Упрочняющая тер-

Таблица 2. Химический состав и свойства среднеуглеродистых легированных конструкционных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
40X	0,36—0,44	—	—	0,8—1,1	—	—	—
30XM	0,26—0,34	—	—	0,8—1,1	—	0,15—0,25	—
30XГC	0,28—0,35	0,8—1,1	0,9—1,2	0,8—1,1	—	—	—
40XH	0,36—0,44	—	—	0,45—0,75	1,0—1,4	—	—
40XHM	0,37—0,44	—	—	0,6—0,9	1,25—1,65	0,15—0,25	—
30XH3	0,37—0,33	—	—	0,6—0,9	2,75—3,45	—	—
38XH3MФ	0,33—0,40	—	—	1,2—1,5	3,0—3,5	0,35—0,45	0,10—0,18

Марка стали	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	α_H , кгс× м/см ²	D_{KM} , мм	T_{50} , °C
40X	100	80	14	55	8	15	—70
30XM	100	85	14	55	10	25	—90
30XГC	110	95	14	50	7	20	—50
40XH	100	85	14	55	9	25	—90
40XHM	105	90	16	60	11	60	—120
30XH3	100	85	14	60	100	>100	—100
38XH3MФ	100	95	12	55	9	>100	—100

Примечания: 1. В хим. составе указаны легирующие элементы, обусловленные марочным обозначением. 2. D_{KM} (критический диаметр) — максимальный диаметр, при котором обеспечивается сквозная прокаливаемость (90% мартенсита) при закалке в масле. 3. T_{50} — порог хладноломкости, т. е. т-ра, при которой в изломе содержится 50% вязкой составляющей после термической обработки. 4. Мех. св-ва (типаичные) после закалки в масле от т-ры 840—860° C и отпуска при т-ре 580—600° C.

механическая обработка осуществляется послековки и обработки резанием. Из К. с. изготавливают детали машин и механизмов. Марки К. с. и техн. требования приведены в ГОСТе 4543—71.

Лит.: Меськин В. С. Основы легирования стали. М., 1964; Гуляев А. П. Металловедение. М., 1966; Гудремон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966; Гуляев А. П. Чистая сталь. М., 1975.

А. П. Гуляев.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, отличающиеся конструкционной прочностью и другими мех. св-вами. Различают К. м. металлические, неметаллические и композиционные. Металлические К. м. (табл. 1) подразделяют: по технологическому исполнению (деформируемые, литейные, свариваемые, спеченные, склеиваемые, паяные), по температурным условиям эксплуатации (тепlostойкие, криогенные), по системе сплавов (алюминия сплавы, титана сплавы,

магния сплавы, бериллия сплавы, меди сплавы, молибдена сплавы и др.), по структурному состоянию (стали аустенитные, ферритные и др.) и по типу упрочнения (закаляемые, улучшаемые, стареющие, дисперсноупрочненные). К наиболее распространенным металлическим К. м. относятся сплавы железа с углеродом, составляющие два крупных класса сталей и чугунов, охватывающих свыше 95% всех К. м. Стали наиболее прочны (см. Конструкционная сталь), вторые по уровню прочности — титана сплавы. По удельному значению прочности алюминия сплавы занимают вместе с магниевыми сплавами третье место, превосходя сплавы меди и никеля. Сплавы меди используют в тех случаях, когда необходимо сочетание мех. прочности с др. характеристиками, напр. теплопроводностью,

Таблица 1. Свойства металлических конструкционных материалов

Материал	E , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	ψ , %	δ , %	α_H , кгс·м/см ²	σ_{-1} , кгс/мм ²
Стали							
Конструкционные							
Ст.45	20 000	70	45	60	20	8	30
30ХГСА	20 000	120	95	55	14	6	48
30ХГСА	19 500	170	120	50	12	7	62
40ХН2СВА	19 000	185	145	50	8	6	72
Нержавеющие							
1Х18Н9Т	18 500	60	25	65	40	14	34
0,8Х15Н5Д2Т	19 000	130	110	60	14	12	55
1Х15Н4АМЗ	19 000	155	125	55	17	15	56
Литейные							
27ХГСНМЛ	20 000	150	120	20	7	3	40
ВНЛЗ	18 500	130	100	45	15	9	46
Сплавы							
Алюминия							
Д16	7100	40—49	30—36	15—30	10	2	14—21
В95	7100	52—53	47—50	12	6	1	15—21
АМг6 (свариваемые)	6900	32	16	—	15	4	8—9
Титана							
BT1-0	10 500	40	28	25	50	8	—
OT4	11 000	70	58	10	30	3,5	38
BT20	12 000	95	85	10	30	4	45
BT22	10 500	110	100	8	25	3	—

электропроводностью, коррозионной стойкостью и антифрикционными свойствами. *Никеля сплавы* используют в основном как жаропрочные, поскольку после легирования алюминием, титаном, хромом, молибденом, вольфрамом и ниобием их эксплуатируют при t -ре до $1000-1050^{\circ}\text{C}$, т. е. до 0,75 и даже 0,8 от t -ры плавления, в то время как стали, сплавы титана и алюминия обычно используют лишь при t -рах до 0,25—0,4 от t -ры плавления. Дальнейшее повышение удельной прочности может быть достигнуто использованием сплавов бериллия. Металлические К. м. получают выплавкой с последующим переделом (поковки, штамповки, листовая и сортовой прокат, тянутые и прессованные полуфабрикаты), в виде изделий (точные штамповки, точные прессованные профили, раскатанные кольцевые детали и т. д.), выплавкой с разливкой в формы с получением деталей различными методами литья (под давлением, по выплавляемым моделям, в кокиль, в песчаные, земляные и гипсовые формы) и т. д. К неметаллическим К. м. относятся *керамические материалы, огнеупорные материалы, стекла* некоторых видов и др., к композиционным К. м. (табл. 2) — спеченные конструкционные материалы, металлы, упрочненные волокнами, и др. (см. *Композиционные материалы*). Используя К. м.,

учитывают возможность изменения их свойств в зависимости от условий эксплуатации: t -ры, продолжительность, коррозионной среды и напряженного состояния. Критериями качества металлических К. м. служат преим. показатели прочности, модули упругости, пределы прочности, упругости и вязкости, а также пластичность, вязкость и надежность (см. *Надежность материалов*). Большое значение имеют технологические параметры: обрабатываемость давлением и резанием, литейные свойства, свариваемость. К определяющим параметрам всех К. м. относится их коррозионная стойкость, в т. ч. сопротивление общей коррозии и чувствительность к коррозии под напряжением. Чувствительность к коррозии под напряжением может привести к возникновению трещин в зоне остаточной напряженности, напряженности, напр., в сварных соединениях высокопрочных сталей и сплавов на основе алюминия и титана, даже если нет внешних нагрузок. Для оценки качества К. м., наряду с прочностью, используют параметры надежности, к которым относятся характеристики вязкости разрушения. Требование достаточной надежности и сочетание ее с высокими показателями прочности обуславливают переход к новым методам получения К. м. Так, повышения чистоты стали и снижения в ней количества ликвационных и кристаллизационных дефектов добиваются применением спец. методов выплавки (электродуговой

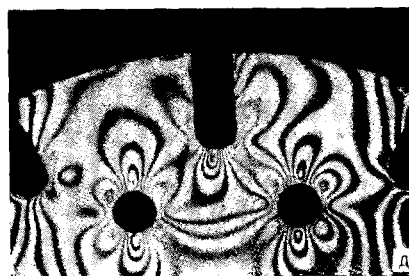
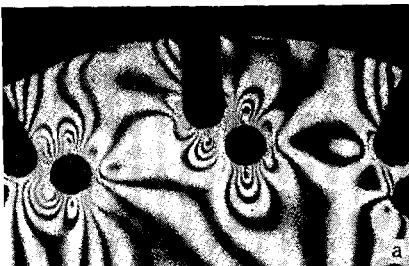
Таблица 2. Свойства композиционных конструкционных материалов

Материал	ρ , г/см ³	σ_B , кгс/мм ²	E , кгс/мм ²
Волокно бора на алюминиевой связке	2,6	100—120	24 000
Углеродное волокно на алюминиевой связке	2,35	75	15 000
Волокно бора на магниевой связке	2,0	100	22 000
Волокно карбида кремния на титановой связке	4,0	90	21 000
Вольфрам на никелевой связке	12,5	80	46 500
Волокно молибдена на никелевой связке	9,3	70	23 500
Дисперсные частицы двуокиси гафния на никелевой связке	9,0	50—55	14 000

Примечание: Приведенные в таблице материалы могут применяться только до t -ры 200°C , при более высокой t -ре они теряют свои механические свойства.

и вакуумно-дуговым переплавом, вакуумно-индукционной, плазменной или электроннолучевой плавкой, внепечным вакуумированием). К. м. предназначены для изготовления деталей конструкций, воспринимающих силовую нагрузку. См. также Армированные материалы, Спеченные материалы.

Распределение напряжений оптически активной модели корпуса алмазной дисковой пилы в зоне межсегментных пазов — источник концентрации напряжений — при нагружении усилиями резания; а, в, д — при наличии под пазами разгрузочных отверстий, ориентированных вдоль равнодействующей суммарной нагрузки и расположенных на расстоянии соответственно $d/2$, d и $3d/2$ от оснований пазов (d — диаметр отверстия, равный ширине паза); б, г, е — то же, но с ориентацией разгрузочных отверстий по радиальному направлению.



Лит.: Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М., 1969; Современные композиционные материалы. Пер. с англ. М., 1970.

Н. М. Скляров, А. Т. Туманов.

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ

(от лат. *sum* — с и *centrum* — центр) — сосредоточение больших мех. напряжений на малых участках материала. К. н. вызывается как геометрическими особенностями детали или конструкции (напр., отверстиями, кольцевыми выточками, шпоночными пазами, резбой), так и дефектами структуры материала. Большие местные напряжения могут возникать и при передаче усилия от одной детали на другую, напр. в зонах соприкосно-



вения зубьев шестерен, в шариковых и роликовых подшипниках. Значительную К. п. вызывают риски, царапины и др. дефекты, образующиеся при мех. обработке. К. п., вызванная дефектами структуры, обусловливается внутренней неоднородностью материала, наличием в нем *микротрещин*, инородных включений, газовых пузырей, *волосовин* и др. пороков, полностью избежать к-рых в пром. условиях невозможно. Неоднородность св-в материала (см. *Анизотропия*) вызывается также пластическим деформированием при холодной прокатке, калибровке, штамповании. Местные напряжения вызываются и дефектами, обусловленными поликристаллическим строением металлов, нарушением однородности их хим. состава. Кроме того, местные напряжения могут возникать при изменении т-ры в связи со стесненным расширением или сжатием деталей при наличии в материале фаз с различными теплофизическими св-вами. Значительную К. п. вызывает коррозионное повреждение поверхности детали. Потoki элементарных частиц, преим. нейтронов, также вызывают изменение некоторых мех. св-в *кристаллов*, что приводит к неравномерному распределению напряжений. Поскольку распределение дефектов в материале случайно и поддается законам статистики, в механике сплошной среды часто используют усредненные характеристики, не учитывающие структурной неоднородности материала. Если материал пластичный, напряжения при нагрузках, превышающих предел *текучести*, выравниваются. В хрупких материалах неравномерное распределение напряжений сохраняется до мо-

мента разрушения, оказывая существенное влияние на *прочность*. При динамических нагрузках, когда деформации и напряжения быстро изменяются во времени, выравнивание напряжений не успевает произойти, и К. п. значительно снижает прочность материала. При наличии К. п. значительно снижается предел *выносливости материалов*. К. п. определяют методами теории упругости и пластичности только в сравнительно простых случаях. В большинстве задач К. п. оценивают экспериментально методами *фотоупругости* (рис. с. 619); тензометрии (см. *Испытания материалов механические*) и др. К. п. уменьшается, если нагрузка равномерно воспринимается большей частью объема детали. Чтобы достичь этого, в местах резкого изменения геометрических размеров делают, напр., плавный переход.

Лит.: Нейбер Г. Концентрация напряжений. М.—Л., 1947; Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. М., 1975; Савин Г. Н. Распределение напряжений около отверстий. К., 1968.

И. А. Козлов.

КОПЕЛЬ [от англ. сор(рег) — медь и (*ник*)ель] — медноникелевый сплав с особыми термоэлектрическими свойствами. Хим. состав К. (марки МНМц43-0,5): 42,5—44,0% Ni; 0,1—1,0% Mn; не более 0,1% С; 0,1% Si; 0,15% Fe; остальное — медь. По хим. составу и св-вам (табл.) К. близок к *константану*. Значительно превосходит *алюмель* по величине отрицательной термоэдс. С *хромелем* образует пару, обладающую большей термоэдс (при т-ре до 100°С она равна +6,95 мВ). Однако К. значительно уступает *алюмелю* и *хромелю* в отношении *жаростойкости*, поэтому термопара хромель — копель в эксплуатации надежна лишь до т-ры 600°С (крат-

Свойства копеля

Марка сплава	$D, \text{г/см}^3$	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{кал/см} \times \text{сек} \times ^\circ\text{град}$ $\times \text{сек} \times \text{град}$	$\rho, \text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	$E, \text{мкВ/мм}^2$		$\sigma_B, \text{кгс/мм}^2$	$\delta, \%$
					Мягкий	Твердый		
МНМц43-0,5	8,9	1290	0,058	0,49	9500	12 000	40—60	20—35

современно до т-ры 800° С). К. обла-
дает достаточно высокой технологи-
ческой пластичностью, производ-
ится в виде проволоки. Применяют
К. в качестве компенсационных про-
водов, отрицательного электрода тер-
мопар, в радиотехнических прибо-
рах. Хим. состав К. регламентиро-
ван ГОСТом 492—73, термоэлектри-
ческие св-ва — ГОСТом 1790—63.
Лит.: Материалы в приборостроении и ав-
томатике. Справочник. М., 1969; Сми-
рягин А. П., Смирягина Н. А.,
Белова А. В. Промышленные цвет-
ные металлы и сплавы. М., 1974.

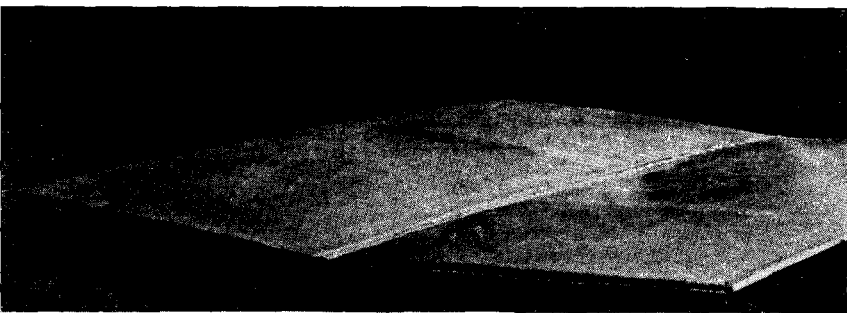
КОРДИЕРИТ [по имени франц.
геолога П. Кордье (P. Cordier)],
 $Mg_2Al_3[AlSi_5O_{18}]$ — минерал клас-
са *силикатов*. Синоним: *дихро-*
пит. Разновидность: *индиалит* —
высокотемпературный магнезиаль-
ный К., изоструктурный с *бериллом*.
Хим. состав переменный, с совер-
шенным *изоморфизмом* магнезия и
железа. Часто содержит примеси
 Fe^{3+} (до 3%), Mn^{2+} (до 2%) и Na
(до 3%). Структура кольцевая,
сингония ромбическая, вид симмет-
рии ромбодипирамидальный. Крп-
сталлы редки, обычно встречаются
в неясно образованных призматиче-
ских формах. Двойники простые,
полиспатетические. Спайность (см.
Спайность минералов) по (010) сред-
няя, несовершенная по (100) и (001).
Плотность 2,60—2,66 г/см³. *Твер-*
дость 7—7,5. Цвет (см. *Цвет мине-*
ралов) синий, фиолетовый, бурый,
бывает К. бесцветный. Блеск стек-
лянный (см. *Блеск минералов*). Из-
лом (см. *Излом минералов*) раковис-
тый. Хрупкий. Оптически отрица-
тельный, иногда положительный;
(—) 2V = 65—85°. Показатели пре-

Коробление листов после сварки.

ломления: $n_g = 1,541—1,549$; $n_m =$
 $= 1,539—1,547$; $n_p = 1,534—1,542$;
 $n_g - n_p = 0,003—0,011$. Встреча-
ется в *гнейсах*, кристаллических
сланцах и измененных изверженных
породах как продукт регионального
и контактного метаморфизма. Кроме
того, содержится в лавах и *пегма-*
титах. Может быть получен в гид-
ротермальных условиях. Использо-
ется иногда как недорогой самоцвет.
Лит.: Ветехтин А. Г. Курс мине-
ралогии. М., 1961; Поваренных А. С.
Кристаллохимическая классификация ми-
неральных видов. К., 1966; Лазарен-
ко Е. К. Курс минералогии. М., 1971;
Дир У. А., Хауи Р. А., Зус-
ман Дж. Породообразующие минералы,
т. 1. Пер. с англ. М., 1965.

Б. И. Горошников.

КОРОБЛЕНИЕ — нежелательное
изменение формы и размеров изде-
лия в процессе обработки. Вызыва-
ется внутренними мех. напряжения-
ми, возникающими вследствие не-
равномерного пластического дефор-
мирования или воздействия неравно-
мерных тепловых полей. К. происхо-
дит при термической обработке (в
результате интенсивного неравноме-
рного нагрева и охлаждения), мех.
обработке материалов со значитель-
ными *остаточными напряжениями*,
в процессе сварки (рис.) листовых
конструкций и др. Кроме того, К.
обуславливается неоднородностью
структуры металла, а также слож-
ной формой (резкими переходами от
одного сечения к другому) изделия.
К. устраняют различными спосо-
бами в зависимости от марки материа-
ла, типа и размеров изделия. Нап-
более распространена правка мех.
нагрузением изделий в холодном



или горячем состоянии и местной термической обработкой. К., возникающее в результате закалки, устраняют, подвергая изделие термической обработке в спец. приспособлениях и закалочных машинах или применяя ступенчатую, изотермическую либо поверхностную закалку.

Лит.: Губкин С. И. Пластическая деформация металлов, т. 1—3. М., 1961; Металлические конструкции. М., 1961; Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения. М., 1968.

Л. М. Лобанов.

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ — свойство материалов сопротивляться коррозии — разрушению в результате действия внешней (коррозионной) среды. Определяется хим. составом и структурой материала, наличием мех. напряжений, состоянием поверхности, агрессивностью и условиями воздействия внешней среды, наличием контактов с др. материалами и т. п. Оценивается качественными показателями (макро- и микроскопическими изменениями поверхности) и количественными показателями: уменьшением толщины материала за единицу времени; временем до появления первого очага коррозии или числом этих очагов за определенное время; отношением массы материала, потерянной за единицу времени вследствие коррозии, к единице площади; объемом газа, выделившегося (водород) или поглощенного (кислород) через единицу площади за единицу времени; изменением (в процентах) за определенное время какого-либо показателя мех. св-в, *электрического сопротивления*, изменением способности материала отражать свет. Для оценки К. с. чаще всего применяют десятибалльную шкалу (табл.).

К. с. высокая у *керамических материалов* с очень плотным черепком, спец. кирпича для устройства канализационных коллекторов, *стекла*, *легированных сталей*, титана, *титана сплавов*, *алюминия сплавов* и др. К кислотостойким относятся материалы с преобладанием нерастворимых или труднорастворимых *кислотных окислов* — кремнезема (см. *Диоксид кремния*), *низкоосновных*

силикатов и *алюмосиликатов*. Ма-терналы, содержащие основные окислы (напр., *известняки* или *магнети́ты* и обычные строительные материалы), разрушаются под действием минер. к-т, но стойки по отношению к щелочам (см. также *Кислотостойкие материалы*, *Щелочестойкие материалы*). К. с. материалов с кристаллической структурой выше, чем материалов с аморфной структурой. К. с. большинства строительных материалов мала. Так, *доломит*, *мрамор* и многие др. *каменные природные материалы* нестойки по отношению к кислотам. Почти все цементы (за исключением кислотостойких) также плохо противостоят действию кислот. К. с. металлов повышают *легированием*, *рафинированием*, нанесением *защитных покрытий*, красок и антикоррозионных смазок, изменением состава внешней среды (с целью уменьшения ее агрессивности) введением ингибиторов коррозии — веществ, замедляющих коррозионные процессы, применением катодной поляризации от внешнего источника постоянного электр. тока (катодная защита) или присоединением к защищаемому изделию отдельного электрода со значительно большим электроотрицательным потенциалом (протекторная защита), *химико-термической обработкой*, рациональным конструированием машин и аппаратов с учетом электрохим. активности материалов, исключаям наличие мест возможного локального повышения концентрации внешней среды, и т. п. Часто для более эффективного повышения

Шкала коррозионной стойкости материалов

Материал	Скорость коррозии, мм/год	Балл
Совершенно стойкий	Меньше 0,001	1
Весьма стойкий	От 0,001 до 0,005	2
	От 0,005 до 0,01	3
Стойкий	От 0,01 до 0,05	4
	От 0,05 до 0,1	5
Пониженно стойкий	От 0,1 до 0,5	6
	От 0,5 до 1,0	7
Малостойкий	От 1,0 до 5,0	8
	От 5,0 до 10,0	9
Нестойкий	Больше 10,0	10

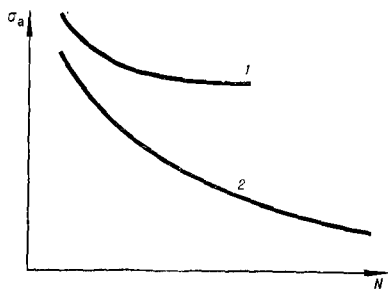
л. с. применением нескольких методов одновременно. К. с. бетона повышают увеличением плотности (тщательно подбирая состав, рационально укладывая и уплотняя бетонную смесь), а также применением спец. цементов, напр. *пуццоланового портландцемента*. Для защиты бетона и др. неметаллических строительных материалов также применяют различные защитные покрытия. См. также *Коррозия бетона, Коррозия металлов, Коррозионностойкие материалы*.

Лит.: Акимов Г. В. Основы учения о коррозии и защите металлов. М., 1946; Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов. М., 1960; Розенфельд И. Л. Атмосферная коррозия металлов. М., 1960; Скорчеллетти В. В. Теоретические основы коррозии металлов. Л., 1973; Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов. Пер. с англ. М., 1962. В. И. Похмурский.

КОРРОЗИОННАЯ УСТАЛОСТЬ — усталость металлов (сплавов), возникающая в результате одновременного воздействия на них циклически меняющихся нагрузок и внешней (коррозионной) среды. Характеризуется условным пределом К. у. — максимальным мех. напряжением, при к-ром после установленного числа циклов переменной нагрузки в заданных коррозионных условиях металл еще полностью не разрушился. Разрушение металла имеет многоопасный характер, обусловленный большим количеством коррозионно-усталостных трещин, протекает без заметной макродеформации и приводит к резкому, иногда катастрофическому снижению несущей способности изделий. Так, морская, пластовая, водопродоводная вода и даже влажный воздух могут в десятки и сотни раз снизить количест-

во циклов до разрушения металла по сравнению с сухим воздухом. От обычной усталости материалов К. у. отличается отсутствием предела выносливости (горизонтального участка на кривой 1, см. рис.), к-рый наблюдается у мн. металлов в сухом воздухе, т. е. с увеличением числа циклов нагружения напряжение разрушения закономерно уменьшается. Поэтому К. у. нельзя характеризовать только величиной напряжения без указания числа циклов. К. у. мало зависит от коррозионной стойкости металлов. Для углеродистых сталей, среднелегированных (см. *Легированная сталь*) и большинства нержавеющей сталей и сплавов при К. у. характерна инверсия масштабного эффекта (см. *Масштабный фактор прочности*), т. е. с увеличением сечения коррозионно-усталостная прочность изделия повышается, тогда как в воздухе понижается. При К. у. увеличивается влияние частоты нагружения, понижается влияние шероховатости поверхности изделия, уменьшается чувствительность к надрезам и к др. источникам концентрации напряжений. К. у. предшествует адсорбционная усталость металлов. Сопротивление К. у. повышают в основном нанесением на металл гальванических, диффузионных, полимерных и др. защитных покрытий. Хорошие результаты дает протекторная защита и катодная поляризация от внешнего источника тока. Поверхностный наклеп и высокочастотная закалка обеспечивают высокую коррозионно-усталостную прочность, однако продолжительность действия такой защиты, как и мн. покрытий, ограничена. Применение нержавеющей сталей вместо углеродистых повышает сопротивление К. у. незначительно. Используют также ингибиторы К. у., вводимые в коррозионную среду. К. у. изучают, как правило, на машинах, предназначенных для определения характеристик усталости в воздухе и снабженных спец. приспособлениями для подвода коррозионной среды. Метод подвода среды к испытываемому образцу (полное погружение, перио-

Типовые кривые усталости сталей в сухом воздухе (1) и в коррозионной среде (2).



дическое смачивание и др.) существенно влияет на К. у., что связано с различным количеством растворенного в ней кислорода. Термическая обработка металлов, рафинирование и легирование существенно влияют на усталость изделий в воздухе и значительно меньше на коррозионную усталость. С увеличением агрессивности среды роль др. факторов (структуры и состава металла, его обработки и т. п.) уменьшается.

Лит.: Гликман Л. А. Коррозионно-механическая прочность металлов. М.—Л., 1955; Карпенко Г. В. Прочность стали в коррозионной среде. М.—К., 1963; Романов В. В. Влияние коррозионной среды на циклическую прочность металлов. М., 1969; Похмурский В. И. Коррозионно-усталостная прочность сталей и методы ее повышения. К., 1974. В. И. Похмурский.

КОРРОЗИОННОСТОЙКАЯ СТАЛЬ— сталь, отличающаяся коррозионной стойкостью в условиях воздействия различных агрессивных сред. Содержит не менее 12% Cr. Применяется с начала 20 в. К. с. подразделяют на *нержавеющие стали* с относительно невысоким содержанием легирующих элементов и *кислотостойкие стали* высокой степени легированности. В качестве дополнительных легирующих элементов используют никель, марганец, медь, азот (аустенитообразующие элементы), а также молибден, кремний, ванадий, титан и ниобий (ферритообразующие элементы) в различных сочетаниях и количествах, обусловленных требованиями к коррозионной стойкости, структуре, мех. и технологическим св-вам. В зависимости от характера легирования и структуры различают К. с. хромистые (мартенситного, ферритного и мартенситферритного классов) и хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и хромоникельмарганцевые (аустенитного, аустенитомартенситного, аустенитферритного и ферритноаустенитного классов). Хромистые стали, содержащие 0,1—0,4% С и 12—14% Cr, а также сталь марки 14X17H2 и некоторые др. стали мартенситного или мартенситферритного классов используют преим. в термически обработанном

состоянии (после закалки и отпуска), часто со шлифованной или полированной поверхностью, что наряду с высокой прочностью обуславливает и более высокую коррозионную стойкость. Для достижения более высоких мех. св-в при повышенной т-ре и ударной вязкости К. с. мартенситного класса (11—13% Cr, 0,1—0,23% С) дополнительно легируют никелем, молибденом, ванадием, вольфрамом и ниобием (до 1—2% каждого). Из хромистых сталей ферритного класса широко применяют стали марок 08X17T и 15X25T (17 и 25% Cr), отличающиеся более высокой кислотостойкостью и жаростойкостью. Хромоникелевые стали аустенитного класса марок 12X18H9, 17X18H9, 12X18H9T, 08X18H10T и 08X18H12B из-за отсутствия или незначительного количества *альфа-фазы* обладают высокими технологическими св-вами. Такие стали немагнитны, если в структуре нет ферритной составляющей. К. с. аустенитного класса с очень низким содержанием углерода ($\leq 0,03\%$) по сравнению со сталями стабилизированными, содержащими карбидообразующие элементы (титан и ниобий), характеризуются более высоким сопротивлением межкристаллитной коррозии, а также ножевой коррозии (см. *Коррозия металлов*). Из-за отсутствия карбидов и карбидонитридных включений сталь приобретает более высокие пластические св-ва, высокую способность к полированию. Коррозионную стойкость хромоникелевых сталей аустенитного класса типа X18H10 повышают дополнительным легированием молибденом (2—4%). К ним относятся стали марок 10X17H13M2T, 10X17H13M3T и 08X17H15M3T, а также стали такого же типа с низким содержанием углерода, например сталь марки 03X17H14M2. К. с. ферритоаустенитного класса (кислотостойкие стали) таких марок, как 08X22H6T, 08X21H6M2T, 08X18H8H2T и 08X18H8H3M2T, обладают относительно большой прочностью при высоких значениях пластичности и ударной вязкости, в то же время сопротивляемость их межкристаллитной коррозии и коррозионному растрескиванию (коррозии под на-

протяжением) более высокая. Такие стали содержат меньше дефицитного никеля, чем стали аустенитного класса (пержавеющие стали). Никель частично заменяют также марганцем в сочетании с азотом (напр., стали марок 10X14Г14НЗ, 10X14Г14Н4Т, 10X14АГ15 и 12X17Г9АН4). *Термическая обработка* сталей аустенитного, аустенитоферритного и ферритоаустенитного классов состоит из нагрева до т-ры 1000—1080° С с последующим быстрым охлаждением в воде, пароводяной смеси или (для тонких сечений) на воздухе. К. с. переходного класса (в частности, стали марок 09X15Н8Ю, 09X17Н7Ю и 07X16Н6) отличаются повышенной прочностью; после заковки они приобретают аустенитную или аустенитоферритную структуру, претерпевающую *мартенситное превращение* после дополнительного отпуска, обработки холодом (см. *Холодом обработка металлов*) или холодной пластической деформации. К. с. выплавляют в основном в открытых электродуговых и индукционных печах. Из чистых шихтовых материалов сталь получают в индукционных печах методом переплава, а при использовании отходов нержавеющей сталей — методом окисления в электродуговых печах, применяя в качестве интенсификатора процесса газообразный кислород. Используют также электроплавковый переплав, в основу которого положен переплав металлических электродов в слое синтетического *шлака*, и выплавку стали в вакуумных и вакуумно-дуговых печах с расходуемым электродом, а также в электроннолучевых и плазменных печах. Степень агрессивности сред определяет выбор марки К. с. Так, аустенитные стали, ударная вязкость к-рых мало изменяется при очень низких т-рах, используют в криогенной технике и применяют в качестве *немагнитных сталей*. Из К. с. изготовляют сварные конструкции, детали машин и оборудования, аппараты, эксплуатируемые во влажной среде, морской воде, неорганических и органических к-тах, в смеси к-т, растворов щелочей, солей и мн. др. хим. веществ, а также в расплавах солей. Марки, хим. состав, структурные особенности и

осн. назначение К. с. предусмотрены ГОСТом 5632—72.

Лит.: Хим у ш и н Ф. Ф. Нержавеющие стали. М., 1967; Материалы в машиностроении. Справочник, т. 3. М., 1968; Бабаков А. А., Приданцев М. В. Коррозионностойкие стали и сплавы. М., 1971; Бабаков А. А. Современные коррозионностойкие стали и сплавы. «Защита металлов», 1971, № 3; Потак Я. М. Высокопрочные стали. М., 1972; Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей. Справочник. М., 1973; Коррозионностойкие металлические конструкционные материалы и их применение. М., 1974; Каховский Н. И. Сварка высоколегированных сталей. К., 1975. А. А. Бабаков.

КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, отличающиеся повышенной *коррозионной стойкостью*. Различают К. м. конструкционные (металлические, неметаллические, композиционные), используемые для изготовления конструкций, и защитные, предохраняющие металлические сооружения от коррозии. Материалы, обладающие повышенной хим. стойкостью к активным газовым средам при повышенных т-рах, обычно выделяют в разряд *жаростойких материалов* (см. также *Коррозия металлов, Коррозия бетона, Защитные покрытия*). К **металлическим** К. м. относятся стали, чугуны, сплавы на основе никеля, меди (*бронзы, латуни*), алюминия, титана, циркония, тантала, ниобия и др. Их стойкость против электрохимической коррозии в принципе можно повышать увеличением термодинамической стабильности или торможением катодного и анодного процессов. На практике повышения коррозионной стойкости технических сплавов обычно добиваются *легированием*, тормозящим анодный процесс, т. е. улучшающим пассивационные характеристики (см. *Пассивирование*), обуславливая возможность самопассивирования сплава в условиях эксплуатации. Наиболее легко пассивируются хром и титан. Повышенная способность хрома к пассивации при его введении в менее пассивирующиеся металлы, напр. железо, может передаваться сплаву. На этом принципе основано получение *нержавеющих сталей*. Чем больше введено хрома, тем выше коррозионная стойкость

и жаростойкость сталей. Верхний предел легирования хромом железа (25—30%) связан обычно с технологическими ограничениями (появление хрупкости). Добавки др. элементов изменяют характер коррозионной стойкости или улучшают технологические свойства стали. Так, добавка никеля (2—6%) ведет к появлению мартенситной структуры (см. *Мартенсит*) и значительному повышению прочности сплава. Дальнейшее увеличение содержания никеля (8% и более) приводит к чисто аустенитной структуре, повышает пластичность и жаропрочность, а также коррозионную стойкость стали в слабопассивирующих средах. Молибден повышает стойкость стали в некоторых активных средах и снижает склонность к питтинговой (точечной) коррозии в средах, содержащих ионы хлора. Аналогичное действие оказывают кремний, ванадий и рений. Повышенное содержание кремния (до 5%) увеличивает стойкость стали к азотной кислоте высокой концентрации. Титан и ниобий, связывая углерод в стойкие карбиды, препятствуют выведению хрома из твердого раствора и тем самым снижают склонность стали к межкристаллитной коррозии, улучшают ее свариваемость. Подобную же цель преследуют, максимально снижая содержание углерода в нержавеющей сталях. Добавки палладия или платины (0,2—0,5%) значительно повышают пассивируемость и корро-

зионную стойкость стали в окисляющих к-тах, напр. в серной к-те. Введение незначительного количества азота, так же, как и большого количества марганца, позволяет сохранить аустенитную структуру стали (см. *Аустенит*) при значительном снижении содержания дефицитного никеля. Характерной особенностью титана в титановых сплавах является их повышенная пассивируемость по сравнению с хромом (и, следовательно, с нержавеющей сталями) в средах, содержащих ионы хлора. Дальнейшее повышение пассивируемости и коррозионной стойкости достигается модифицированием титана (а также некоторых его сплавов) добавками палладия (табл.).

Хромистые стали марок 0X13, 1X13, 2X13 и 3X13 стойки в атмосферных условиях и в малоагрессивных растворах; при повышении содержания углерода закаляются, отличаются повышенной прочностью, жаростойки до т-ры 750° С. Их применяют, напр., для изготовления предметов домашнего обихода и посуды. Хромистые стали марок X17 и 0X17T стойки в окисляющих к-тах (напр., в азотной), понижение содержания углерода и наличие титана улучшают их свариваемость, они жаростойки до т-ры 850° С. Эти стали — материал для изделий широкого потребления. Хромистые стали марок X28 и X25T стойки в окисляющих к-тах, жаростойки до т-ры 1000° С. Из таких сталей изготавливают аппаратуру для производства гипохлоритов и растворов фосфорной

Коррозионная стойкость титана и его сплава с 0,2% Pd

Среда	Концентрация	t, °C	Скорость коррозии, мм/год	
			титана (марки BT1-0)	сплава марки 4200 (Ti, 0,2 % Pd)
Соляная кислота	5	t _{кип}	19,3	0,10
Серная кислота	5	t _{кип}	25,4	0,51
Фосфорная кислота	5	150	8,15	0,15
Муравьиная кислота	85	t _{кип}	4,26	0,10
Хлористый алюминий	25	t _{кип}	51,3	0,025
Хлористый кальций	73	177	2,13	0,00

цы, ковши для расплавленных цветных металлов. Хромоникелевые сплавы марок Х18Н10Т и ОХ18Н12Б (хорошо свариваемые аустенитные нержавеющие стали) стойки в окисляющих и некоторых органических к-тах, чувствительны к иону хлора в кислых растворах, наличие в этих сталях титана или ниобия и возможное снижение содержания углерода уменьшают их склонность к межкристаллитной коррозии. Применяют их в хим. и др. отраслях пром-сти. Хромоникельмолибденовые стали марок Х18Н13М2Т и ОХ23Н28М2Т (хорошо свариваемые аустенитные стали) стойки в разбавленных растворах неокисляющих к-т, по сравнению с хромоникелевыми сталями отличаются повышенной стойкостью к иону хлора, менее подвержены питтинговой коррозии. Хромоникельмолибденоникелевые стали марок ОХ23Н28М3ДЗТ и ООХ23Н28М3ДЗТ наиболее коррозионностойки, стойки в серной, фосфорной и органических к-тах, не стойки в соляной и фтористоводородной к-тах, понижение содержания углерода устраняет развитие межкристаллитной коррозии сварного шва. Хромоникелевые стали (с пониженным содержанием никеля) марок ОХ22Н5Т и ОХ21Н6М2Т — сплавы феррито-аустенитной структуры. Отличаются более высокой прочностью по сравнению с чисто аустенитными, но несколько пониженной коррозионной стойкостью. Во многих случаях их используют как заменитель основной нержавеющей аустенитной стали марки Х18Н9Т. Хромомарганцевоникелевые стали марок Х14Г14НЗТ и ОХ17Г9Н5БА представляют собой аустенитные стали с пониженным содержанием никеля и наличием марганца или марганца и азота, вводимых для сохранения аустенитной структуры. Они близки по свойствам к стали марки Х18Н9Т, но отличаются несколько пониженной пассивируемостью. Никельмедистый чугун марки С4-24-44, содержащий 14% Ni, 7% Cu, 2% Si и 3% С (остальное железо), стоек в разбавленной серной к-те, не стоек в азотной; из него изготавливают литые детали (насосы, фильтры и др.), эксплуатируемые в кислых неокисляющих средах. Хромоникелевые

чугун, содержащий 18% Cr, 8—9% Ni, 1,8% Si и 1,5% С (остальное железо), стоек в азотной к-те и окислителях, не стоек в серной и соляной к-тах, не ржавеет в атмосферных условиях. Высококремнистый чугун (ферросилид), содержащий 14,5—18% Si и 0,3—0,8% С (остальное железо), стоек в наиболее агрессивных средах — серной, азотной и соляной к-тах (на холоду), не стоек в фтористоводородной к-те. Его обрабатывают абразивом, применяют для изготовления насосов, труб и др. изделий, эксплуатируемых в к-тах. Кремнистомолибденовый чугун (антихлор), содержащий 14,5—16% Si, 3—4% Mo и 0,5—0,6% С (остальное железо), по сравнению с высококремнистым чугуном более стоек к иону хлора. Стоек к горячей соляной к-те, хрупок, обрабатывают его только абразивом. Никелевый сплав марки Н70М27Ф (*хастеллой В*) стоек в соляной и ортофосфорной к-тах всех концентраций и повышенных т-р, в 60%-ной серной к-те до т-ры кипения и в органических к-тах; не стоек в азотной к-те и окислителях. Никелевый сплав марки ОХ15Н55М16В (*хастеллой С*) стоек в окисляющих и неокисляющих к-тах, но в неокисляющих в меньшей степени, чем хастеллой В. *Монель-металл* отличается повышенной стойкостью в неокисляющих минеральных и органических к-тах, стоек в разбавленной фтористоводородной к-те, не стоек в кислых окисляющих средах. Бронзы и латуни стойки в разбавленных неокисляющих и органических к-тах, в солевых растворах, не стойки в кислых окисляющих средах. В морской воде удовлетворительной коррозионной стойкостью обладают некоторые мышьяковистые латуни (с содержанием 0,03—0,05% As), напр. марок ЛОМШ и ЛАМШ; остальные латуни менее стойки. Сплавы алюминия стойки в солевых растворах и окисляющих средах, в концентрированной азотной кислоте и в пищевых средах, не стойки в щелочах. Титан (марки ВТ1-0) стоек в окисляющих средах, азотной к-те, влажном хлоре, «царской водке»,

в соляной и серной к-тах до 3—5% концентрации на холоду и в морской воде. Сплав марки 4200 более стоек к неокисляющим к-там, чем титан (см. табл.). Сплав марки 4201 (Ti, 32% Mo) отличается особо высокой стойкостью в соляной и серной к-тах высокой концентрации и повышенных т-р. Цирконий стоек к растворам, содержащим ионы хлора, в соляной к-те до т-ры 100° С и в ортофосфорной к-те до т-ры 60° С. Сплавы циркония с оловом или ниобием по сравнению с чистым цирконием отличаются более высокой стойкостью против наводороживания в воде при повышенных т-рах и давлениях (применяются в атомной промышленности). Тантал и сплавы на его основе стойки в соляной к-те, бромистом водороде, азотной и ортофосфорной к-тах, в «царской водке» и серной к-те всех концентраций за исключением концентрированной серной к-ты: нестойки в фтористоводородной к-те и концентрированных щелочах. Охрупчиваются катодно выделяющимся водородом. Ниобий и сплавы на его основе также весьма коррозионностойки, хотя и несколько менее кислотостойки, чем сплавы тантала. Также подвержены водородному охрупчиванию. К неметаллическим К. м. относятся алюмосиликаты, кальцевые силикаты или чистый кремнезем с окислами многих др. элементов. Андезит, базальт, гранит, бештаунит, диорит, кварцит и др. природные силикатные материалы, в которых преобладают нерастворимые кислотные окислы, обладают высокой кислотостойкостью во всех к-тах за исключением фтористоводородной. Доломит, мрамор и из-

вестняк, не отличаются кислотостойкостью, но стойки к щелочам. Природные силикатные материалы применяют в виде блоков и плит для изготовления башен и футеровок емкостей и аппаратов (не теплообменного типа), эксплуатируемых в сильноокислых средах. Более широкое применение находят искусственные силикатные материалы, получаемые плавлением горных пород: каменнотиты (диабаз, базальт), технические ситаллы и шлакоситаллы, силикатные и кварцевые стекла, кислотостойкие эмали. Спеканием силикатных горных пород получают различные керамические изделия. Искусственно получаемые силикатные материалы используют в хим. и др. отраслях промышленности для изготовления труб, арматуры и змеевиков или как футеровочный материал емкостей и аппаратов. Кислотостойки такие стекловолокнистые материалы, как стеклянная вата, стеклянная ткань и природные слюда и асбест. К композиционным К. м. на основе металлов относятся преим. никель, титан и алюминий, упрочненные нитевидными кристаллами окиси алюминия, бора, углерода, карбида бора, кремния и бериллия или непрерывными волокнами вольфрама и молибдена. Композиционными К. м. на основе неметаллических материалов являются некоторые композиции ситаллов со стеклообразной матрицей, а также широко применяемые композиции на основе цемента (напр., железобетон). К композиционным относятся и кислотостойкие замазки (цементного типа), способные самопроизвольно затвердевать. Их используют при футеровке хим. аппаратуры (керамикой, диабазом, стеклом, графитом и др.), чтобы закрепить эти материа-

Таблица 1. Химический состав и свойства низколегированных коррозионностойких

Марка чугуна	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
ЧНХТ	2,7—3,4	1,4—2,0	1,0—1,6	0,5	0,15	0,2—0,4	0,3—0,7	—
ЧН1ХМД	2,8—3,2	1,6—2,0	0,9—1,2	0,15	0,12	0,2—0,6	0,7—1,5	0,3—0,6
ЧН1МШ	3,2—3,8	1,8—2,8	0,8—1,2	0,10	0,03	До 0,1	0,8—1,4	0,3—0,6

лы, создают герметичность в местах соединений. Наиболее часто применяют силикатные кислотостойкие замазки, которые готовят замешиванием тонко измельченных наполнителей (андезита, базальта, диабаз и др.) с добавками (около 5%) кремнефтористого натрия на жидком стекле. Такие замазки стойки в концентрированных минеральных кислотах, исключая плавиковую и фосфорную (но не стойки к щелочам), жаростойки до t -ры 800° С. К. м. регламентируют ГОСТы 5632—72 и 2176—67. См. также *Жаростойкие сплавы, Кислотостойкие сплавы, Кислотостойкий бетон, Композиционные материалы, Коррозионностойкая сталь, Коррозионная усталость, Коррозионностойкий чугун.*

Лит.: Батраков В. П. Коррозия конструкционных материалов в агрессивных средах. (Справочник). М., 1952; Поляков К. А., Сломанская Ф. Б., Полякова К. К. Коррозия и химически стойкие материалы. М.—Л., 1953; Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов. М., 1960; Суслов Н. И. (и др.). Неметаллические материалы. Справочник. М.—Свердловск, 1962; Новые материалы в технике и науке. М., 1966; Новые коррозионностойкие стали и сплавы. М., 1966; Парфенов Б. Г., Герасимов Б. В., Венедиктова Г. И. Коррозия циркония и его сплавов. М., 1967; Химусин Ф. Ф. Нержавеющие стали. М., 1967; Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Коррозия и коррозионностойкие сплавы. М., 1973. Н. Д. Томашов.

КОРРОЗИОННОСТОЙКИЙ ЧУГУН

— чугун, отличающийся *коррозионной стойкостью*; вид *коррозионностойких материалов*. Основные типы К. ч. исследованы в 20—40-х гг. 20 в. К. ч. получают легированием *серых чугунов* и *белых чугунов* хромом, кремнием, никелем, алюминием и др. хим. элементами, способствующими образованию на поверхности чугуна окислительной пленки, предохраняющей металл от коррозии (см. *Коррозия металлов*).

чугунов

		$\sigma_{\text{в}}$ кгс/мм ²	$\sigma_{\text{т}}$ кгс/мм ²	НВ
Cu	Ti			
—	0,05—0,12	22	44	—
0,2—0,5	—	30	70	201—236
—	—	50	—	183—286

Различают К. ч. гл. обр. химически стойкие (кислото-, щелочестойкие и др.), жаростойкие, эрозионностойкие против коррозионного истощения. Коррозионная стойкость чугуна в значительной мере определяется формой *графита*. Чугун с шаровидной формой графита, как и чугун с тонкодисперсными включениями пластинчатого графита, вследствие более высокой *плотности* металлической основы более коррозионностоек, чем чугун с грубыми выделениями пластинчатого графита. Повышение дисперсности и числа структурных составляющих металлической основы чугуна способствует понижению коррозионной стойкости. Графит шаровидной формы в К. ч. (*нирезистаз*, ферросплавах, *чугулах*) получают *модифицированием* жидкого чугуна спец. добавками (металлическим магнием, сплавом 10—15% Mg с никелем, сплавами редкоземельных элементов и комплексными модификаторами). Чугуны с ферритной (см. *Феррит*) или перлитной (см. *Перлит* в металлведении) структурой без последующих превращений в твердом состоянии (при прочих равных условиях) более коррозионностойки, чем чугуны с феррито-перлитной структурой. Широко распространены К. ч. низколегированные (напр., *хромистые чугуны, кремнистые чугуны, хромоникелевые*), высокохромистые, аустенитные, высококремнистые, кремнемолибденовые и *алюминиевые чугуны*. Низколегированные чугуны (табл. 1) используют для изготовления деталей, эксплуатируемых при повышенных t -рах в газовых средах. Хромистые и кремнистые К. ч. характеризуются высокой *жаростойкостью* и сопротивлением росту (см. *Рост чугуна*). Детали из этих чугунов эксплуатируют при t -ре до 1000° С. Хромоникелевые чугуны (табл. 2 на с. 630) стойки в расплавленных щелочах и их водных растворах. Из таких чугунов изготавливают котлы для плавки каустика, ребристые трубы. Высокохромистые чугуны (хромэкс) применяют в пищевой и хим. пром-сти. Аустенитные (нежелезистые) чугуны отличаются

повышенной износостойкостью в условиях совместного воздействия повышенной т-ры и хим. агрессивной среды. Их используют в хим., нефтяной, автомобильной и др. отраслях пром-сти. Высококремнистые чугуны (ферросилиды) коррозионностойки в к-тах (за исключением плавиковой и соляной) и в щелочах

тона в результате физического, химического, физико-химического или биологического взаимодействия его с внешней (коррозионной) средой. К физ. факторам, разрушающим бетон, относятся процессы теплообмена с внешней средой и определяющие их процессы массообмена, фазовые и др. превращения (рис., а). При определенном сдвиге термодинамического равновесия с внешней средой в бетоне могут возникать

Таблица 2. Химический состав и свойства хромоникелевых коррозионностойких чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %							σ_B , кгс/мм ²	НВ
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni		

СЧЩ-1	3,2—3,6	1,2—1,5	0,5—0,8	0,15—0,30	До 0,1	0,6—0,8	0,6—0,8	32—38	200—230
СЧЩ-2	3,2—3,6	1,5—2,0	0,4—0,8	До 0,3	До 0,1	0,4—0,6	0,35—0,5	32—38	210—260

при повышенной т-ре. Характеризуются повышенной хрупкостью, плохо обрабатываются резанием. Для улучшения мех. св-в их легируют медью. Из высококремнистых чугунов изготовляют детали поршневых и центробежных насосов (цилиндры, поршни, клапаны, роторы, кожухи, трубы). Кремнемолибденовые чугуны (антихлоры) коррозионностойки в соляной к-те. Их получают легированием высококремнистого чугуна молибденом (до 4%), применяют для изготовления деталей хим. оборудования. Алюминиевые К. ч. характеризуются высокой жаростойкостью и сопротивлением росту. Их используют преим. в автомобильной, тракторной, хим. и металлургической пром-сти для изготовления головок блоков, коленчатых и распределительных валов, котлов, тормозных колодок, изложниц. Марки, хим. состав низколегированных, высококремнистых, высококремнистых и кремнемолибденовых К. ч. — в ГОСТах 7769—55, 2176—57, 2233—70. Лит.: Ващенко К. И. [и др.]. Чугун для отливки щелочестойких котлов. «Литейное производство», 1960, № 1; Богачев И. Н. [и др.]. Справочник литейщика. Чугунное литье. М., 1961; Дятлова В. Н. Коррозионная стойкость металлов и сплавов. М., 1964; Юкалов И. Н. Отливки из химических сплавов. М., 1964. В. Д. Краля.

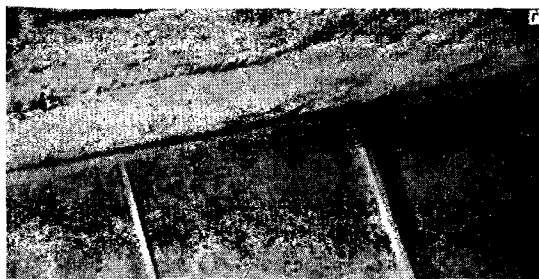
КОРРОЗИЯ БЕТОНА (от лат. *corrodo* — разъедаю) — разрушение бе-

внутренние напряжения. Т. о., физ. факторы разрушения следует рассматривать в связи с химическими (рис., б) и физико-химическими (рис., в). Биологическая К. б. также может быть сведена к химической и физико-химической. Отличие состоит лишь в том, что агрессивная среда создается в процессе жизнедеятельности низших организмов (рис., г). Вследствие коррозии разрушается структура бетона, изменяется его внешний вид и масса, снижается прочность, что приводит к преждевременному разрушению конструкций. Различают К. б. трех видов. Коррозия первого вида происходит под действием вод с малой временной жесткостью в результате растворения составных частей цементного камня и выноса их протекающей водой. Устойчивость компонентов цементного камня — гидросиликатов, гидроалюминатов, гидросульфалюминатов, гидродерри-тов и гидрата окиси кальция — обеспечивается равновесной концентрацией извести в поровой жидкости. Постепенное выщелачивание ее в условиях омыwania бетона водой приводит к сдвигу равновесия. Создается условия для гидролиза компонентов цементного камня и, как следствие, для разрушения его структуры. Особую опасность представляют мягкие воды, обладающие боль-

дой растворяющей способностью. Коррозия второго вида развивается в результате обменных реакций между составными частями цементного камня и кислотами или солями (серническими, хлористыми, магниезальными и др.) внешней среды. В результате обменных реакций образуются легкорастворимые соли и аморфные малорастворимые продукты, не обладающие вяжущей способностью. В этом случае прочность цементного камня снижается, пористость возрастает, вследствие чего К. б. усиливается. Коррозия третьего вида происходит в результате отложения и кристаллизации в порах и капиллярах цементного камня, а в пустотах бетона — малорастворимых солей; вследствие кристаллизации солей возникают значительные усилия, приводящие к разрушению структурных элементов бетона. К. б., развивающаяся под воздействием сульфатов, связа-

на с накоплением и ростом кристаллов гидросульфатоалюмината, гипса и др. Очень часто в бетоне развиваются процессы коррозии всех трех видов одновременно, однако с заметным преобладанием одного из них. Основными показателями агрессивности воды-среды являются бикарбонатная щелочность, водородный показатель, содержание свободной углекислоты, магниезальных солей, сульфатов, аммонийных солей и едких щелочей. Бетон стоек, если он хорошо сопротивляется воздействию внешней агрессивной (коррозионной) среды, т. е. если скорость К. б. невелика. Один и тот же бетон может быть коррозионностоек в одних условиях и нестойк в других. Соответственно одни и те же условия внешней среды могут быть опасны для одного бетона и безопасны для другого. *Коррозионная стойкость* бетона зависит от его плотности, напряженного состояния, состава, структуры, вида цемента и заполнителей, а также от степени воздействия агрессивных сред, т. е. вида и концентрации газов или агрессивных агентов, раствори-

Коррозия бетона и железобетона: а — физическая (в результате атмосферного воздействия); б — химическая (под действием хлористых солей); в — физико-химическая (температурно-влажностное воздействие внешней среды и растрескивание серной кислотой); г — биологическая (под действием плесени).



мости газов в воде, влажности и т.р., величины напора или скорости движения жидкости у поверхности бетона, а для твердых сред (солей, аэрозолей, пыли, грунтов) — дисперсностью, растворимостью их в воде, *гигроскопичностью*, влажностью внешней среды. К. б. под влиянием агрессивной среды происходит, в отличие от *коррозии металлов*, не только на поверхности, но и распространяется в глубь бетона, что обуславливается процессами *диффузии*. Агрессивные условия могут возникать и внутри бетона. Так, разрушение бетона при наличии в нем сульфатсодержащих заполнителей и таких материалов, как *опал*, *халцедон*, тридимит, кристобалит, *цеолиты* и т. п., характеризуется также увеличением его объема в результате процессов, возникающих при взаимодействии кремнезема заполнителей и щелочей цемента или других компонентов, дополнительно введенных при затворении. Чтобы обеспечить необходимую стойкость (долговечность) изделий и конструкций, в бетонную смесь вводят компоненты, повышающие коррозионную стойкость в данных условиях, или удаляют из нее компоненты, способствующие ускорению коррозии. Применяют также специальные портландцементы (*пуццолановый портландцемент*, *сульфатостойкий портландцемент*, *шлакопортландцемент* и др.) и защитные покрытия, изолирующие бетон от внешней среды. Кроме того, изменяют состав среды (т. н. обработка коррозионной среды) — вводят в нее вещества, замедляющие К. б., или удаляют компоненты, особо опасные в коррозионном отношении (нейтрализация, водоотвод и т. п.).

Лит.: Артамонов В. С. Защита железобетона от коррозии. М., 1967; Бабускин В. И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. М., 1968; Иванов Ф. М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии. М., 1968; Коррозия бетона в агрессивных средах. М., 1971; Хоменко В. П., Власюк Н. В. Защита строительных конструкций от коррозии (Справочное пособие). К., 1971.

В. П. Хоменко.

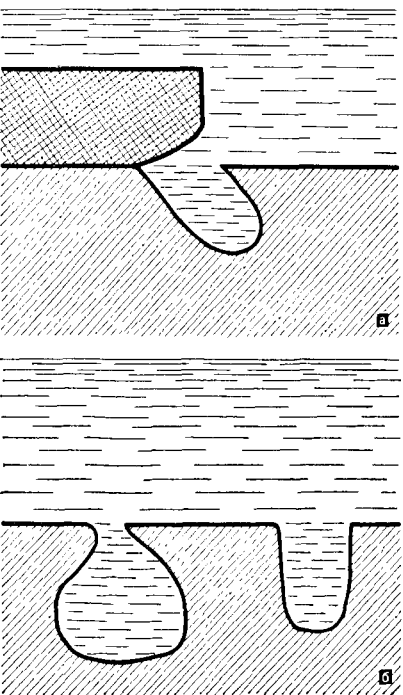
КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ — разрушение металлов в результате хим.

или электрохим. взаимодействия их с внешней (коррозионной) средой. Коррозия железа и сплавов на его основе наз. также *ржавлением*. Ежегодные потери металла в мире от действия коррозии достигают 10—12% его годового производства.

Прямые потери в промышленности развитых странах оцениваются в 13 млрд. долларов в год без учета косвенных убытков от коррозии, связанных с простоями на произ-ве, порчей продуктов, а также с авариями, сопровождающимися иногда человеческими жертвами. Первопричина К. м. — термодинамическая неустойчивость металлов в различных внешних средах и условиях эксплуатации. Степень неустойчивости, зависящая от св-в металлов, особенностей внешней среды и внешних условий, выражается изменением свободной энергии при протекании коррозионной реакции. Химическая коррозия происходит в результате окислительного (перехода в ионное состояние) и восстановительного процессов, протекающих одновременно. Хим. взаимодействие металлов с внешней средой состоит в основном из *окисления* (с образованием *окислов*), *диффузии* атомов (ионов) металла сквозь окисные пленки и встречного перемещения атомов (ионов) кислорода к металлу. Механизм протекания этих процессов аналогичен механизму *электропроводности* в ионных кристаллах. Хим. коррозия возможна в любой внешней среде, но наблюдается гл. обр. в воздухе при высокой т-ре, в жидких неэлектролитах (нефти, бензине, керосине, расплавленной сере) и в жидких металлических расплавах. Хим. коррозия в газообразной среде при высокой т-ре наз. также *газовой коррозией*. От нее большие убытки терпит металлургическая и др. отрасли пром-сти. Защита металлов от газовой коррозии осуществляется: *легированием* стали хромом, алюминием, кремнием и др. элементами (см. *Жаростойкая сталь*); использованием вместо стали сплавов титана, циркония, молибдена и тантала; нанесением на изделия *защитных покрытий* (как правило, диффузионных или плазменных) из

жаростойких материалов (алюминия, хрома, кремния) или тугоплавких соединений (карбидов, нитридов, боридов, силицидов, спеченных материалов); использованием защитной или контролируемой среды в процессе термической обработки или термохимической обработки металлов. Электрохимическая коррозия (наиболее распространенный вид К. м.) происходит при взаимодействии металлов с жидкими электролитами (водой, водными растворами солей, к-т, щелочей, расплавами солей и щелочей). Она представляет собой электрохим. реакцию, состоящую из двух процессов — анодного и катодного. При анодном процессе атомы металла переходят непосредственно в раствор в виде ионов; валентные электроны металла непосредственного участия в этом процессе не принимают. При катодном процессе оста-

Рис. 1. Коррозия металлов, вызванная макроэлектрохимической гетерогенностью: а — щелевая коррозия; б — питтинговая (точечная) коррозия с полузакрытым и открытым питтингами.

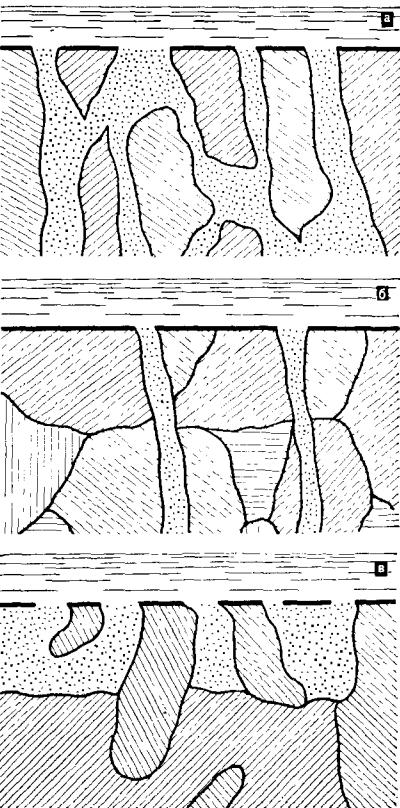


ющиеся в металле избыточные электроны захватываются каким-либо акцептором или деполяризатором. Оба процесса протекают сопряженно и таким образом, что сохраняется равенство числа электронов, отдаваемых металлом и принимаемых окислителем в единицу времени. Разделение электрохим. реакции на анодные и катодные процессы, в отличие от прямой реакции взаимодействия атомов металла с окислителем раствора при хим. коррозии, обуславливается наличием ионов металла в растворе и свободных электронов в металле. Различают электрохим. коррозию с водородной деполяризацией (вследствие разряда ионов водорода) и с кислородной, или окислительной, деполяризацией (в результате ионизации растворенного в растворе кислорода или восстановления каких-либо окислителей). Дифференциация поверхности металла на катодные и анодные участки обуславливает различие электрохим. потенциалов и плотностей гальванических токов, т. е. приводит к электрохим. гетерогенности (неоднородности). В зависимости от ее особенности и от стабильности анодных и катодных участков в пространстве (по поверхности) и во времени коррозионные разрушения бывают различными. Различают коррозию, вызванную макро-, микро- и субмикроэлектрохимич. гетерогенностью. Макроэлектрохимич. гетерогенность (рис. 1) обуславливается макродефектами, соизмеримыми с деталями конструкций; микроэлектрохим. гетерогенность (рис. 2) — микродефектами, образующими коррозионные пары порядка пор в защитной пленке, неоднородностью структуры металлических сплавов (см. также Межкристаллитная коррозия); субмикроэлектрохим. гетерогенность — субмикродефектами типа дислокаций, вакансий, внедренных атомов, различным энергетическим состоянием атомов, термической флуктуацией атомов металла или молекул (ионов) растворителя и т. п. (см. также Коррозионная усталость). Подавляющее большинство электрохим. коррозионных процессов

происходит по механизму гетерогенно-электрохим. реакции. Иногда анодные и катодные участки на металлической поверхности непрерывно перемещаются (флуктуируют), вследствие чего наблюдается довольно равномерная К. м., протекающая по механизму гомогенно-электрохим. реакции (коррозия особо чистых металлов). Исследования кинетики катодных и анодных процессов и определяющих их факторов позволяют изучить механизм электрохим. коррозии и определить методы защиты от нее. По характеру коррозионного разрушения различают сплошную коррозию, охватывающую всю поверхность металлического изделия, и местную коррозию, охватывающую лишь некоторые участки его поверхности. Сплошную коррозию подразделяют на равномерную, неравномерную и избирательную — в зависимости от того, с одинаковой или неодинаковой скоростью протекает она по всей поверхности или происходит избирательно, т. е. разрушается преим. одна структурная составляющая сплава. Разновидностью избирательной является щелевая коррозия, обусловленная гл. обр. дифференциальной аэрацией среды. Местная коррозия бывает в виде пятен (напр., коррозия латуни в морской воде), язв, т. е. отдельных более или менее глубоких раковин (напр., коррозия стали в грунтах), точек (питтингов) (напр., коррозия аустенитной хромоникелевой нержавеющей стали в морской воде), а также сквозной (точечная или язвенная коррозия листового материала); подповерхностной (послойной), встречающейся при травлении недоброкачественного листового материала и вызывающей расслоение металла и вспучивание поверхности; межкристаллитной, распространяющейся по границам зерен (кристаллитов); транскристаллитной, распространяющейся по зерну; пожевой, распространяющейся обычно вдоль сварных швов при эксплуатации некоторых металлов в агрессивных средах. Межкристаллитная, транскристаллитная или пожевая коррозия, не оставляя заметных

признаков на поверхности, приводит к полной потере работоспособности эксплуатируемой детали или конструкции. По типам сред и условиям эксплуатации различают коррозию кислотную, щелочную, солевую, морскую, атмосферную, коррозию при полном постоянном или переменном погружении в среду, коррозию по ватерлинии, почвенную (грунтовую), контактную — при контакте двух разнородных металлов, коррозию блуждающими токами (вблизи линий электропередач, трамвайных линий). Под влиянием продуктов жизнедеятельности бактерий и др. организмов протекает биологическая коррозия. С жизнедеятельностью бактерий связано об-

Рис. 2. Коррозия металлов, вызванная микроэлектрохимической гетерогенностью: а — межкристаллитная коррозия; б — транскристаллитная коррозия; в — структурно-избирательная коррозия.



растание подводной части судов, также оказывающее влияние на коррозионные процессы. Радиоактивное излучение вызывает т. н. радиационную коррозию. При одновременном воздействии на металл внешней среды и мех. напряжений (внутренних или внешних) все коррозионные процессы активируются, поскольку напряжения понижают термодинамическую устойчивость металла и нарушают сплошность пассивных пленок (см. *Пассивирование*). Хрупкое разрушение металлов при одновременном воздействии внешней среды и длительных статических (растягивающих, изгибающих) напряжений, меньших предела текучести, наз. коррозионным растрескиванием. Оно ведет к разрушению мн. деталей и элементов конструкций из различных сталей, сплавов, в т. ч. из нержавеющей. Коррозионное растрескивание — сложный процесс, сильно зависящий как от качества металла, его структуры, мех. нагружений, так и от вида среды, ее т-ры, давления и др. условий. Поэтому механизм зарождения и развития трещин для каждого случая различен. Коррозионные трещины могут распространяться не только по границам зерен, но и транскристаллитно. Коррозионному растрескиванию подвергаются малоуглеродистые стали в растворах NaOH , Na_2SiO_3 , кислых солей кальция, аммония или натрия; углеродистые и низколегированные стали — в кипящих концентрированных р-рах MgCl_2 , в водных р-рах HCN ; нержавеющие высокохромистые стали — в р-рах $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}_2$, H_2S , в морской воде; нержавеющие хромоникелевые аустенитные стали — в р-рах хлоридов MgCl_2 , ZnCl_2 , LiCl , в дистиллированной воде при высоких т-рах и давлениях; никель — в р-рах NaOH ; медные сплавы — в парах аммиака, в среде, загрязненной SO_2 или NH_3 , в р-рах ртутных солей; алюминиевые сплавы — в расплавах и р-рах NaCl , в морской воде, водяных парах, в среде, загрязненной SO_2 ; магниевые сплавы — в р-рах $\text{NaCl} + \text{K}_2\text{C}_2\text{O}_7$, в морской атмосфере, дистиллированной воде. Хрупкое разрушение металлов при одновременном воздействии внешних сред и длитель-

ных циклических (растягивающих, пульсирующих или знакопеременных) напряжений, близких пределу текучести или выше его и изменяющихся с низкой частотой (до 50 изменений в минуту), наз. малоцикло-вой коррозионной усталостью (см. также *Малоцикловая усталость*). От нее разрушаются емкости, сосуды под давлением, подводные передвижные и мн. др. объекты. Металл может разрушаться как межкристаллитно, так и транскристаллитно, в зависимости от качества, среды и условий эксплуатации его (см. вклейку сс. 640 и 641). Для хрупкого разрушения металлов в результате одновременного воздействия внешних сред и длительных циклических напряжений ниже предела текучести и с высокой частотой их приложения (выше 50—100 циклов в минуту), т. е. коррозионной усталости, характерно в большинстве случаев транскристаллитное распространение трещин, хотя встречаются и разрушения смешанного типа в зависимости от св-в металла (структурного состояния), вида среды и условий эксплуатации (давления, т-ры). При коррозионной усталости трещины могут настолько интенсивно растворяться, особенно в концентраторах напряжений (см. *Концентрация напряжений*), что их отрицательное влияние на долговечность изделий уменьшается (дно трещины, как правило, является анодом и при наличии большого катода — поверхности изделия — быстро растворяется). Одновременное воздействие циклических напряжений и внешних сред очень сильно уменьшает долговечность изделий по сравнению с их долговечностью при эксплуатации в воздухе (иногда более чем в 10 раз). От коррозионной усталости разрушаются гребные валы, рессоры автомобилей, морские и рудничные канаты, штанги глубинных насосов, прокатные валки и др. Хрупкое разрушение металла при одновременном воздействии трения между двумя твердыми телами, внешней среды и длительных циклических напряжений наз. фреттинг-коррозией. От нее разрушаются валы

с туго насаженными на них втулками (насадками), листовые рессоры, различные соединения (заклепочные, болтовые, резьбовые, цанговые), допускающие небольшие перемещения одних деталей относительно других. Коррозионно-усталостное разрушение при фреттинг-коррозии усиливается щелевой коррозией, пластическими деформациями, разрушением окисных пленок и др. *Излом металла* имеет многообразный вид, очагов разрушения значительно больше, чем при коррозионной усталости (много- и малоцикловой), интенсивность коррозионных процессов значительно выше. Коррозионное растрескивание, коррозионную усталость и фреттинг-коррозию обычно наз. коррозией под напряжением. Наиболее полно эти коррозионно-мех. разрушения объясняются адсорбционно-электрохим. теорией. Согласно этой теории взаимодействие металла с внешней средой начинается с *адсорбции* среды на металле, что уменьшает *поверхностную энергию* металла, изменяет его структуру и субмикродофектность, усиливает воздействие внешней среды, приводит к избирательной коррозии и возникновению коррозионных трещин. Эти процессы активируются под действием напряжений, деформаций и др. Разрушение металла из-за длительного воздействия возникающих и захлопывающихся мелких вакуумных пузырьков (микрогидравлических ударов) наз. *коррозионной кавитацией* (разрушение внешних поверхностей втулок судовых дизелей, охлаждаемых морской водой, быстроходных насосов, гидравлических турбин, гребных винтов). Близка к ней *коррозионная эрозия металлов* — их разрушение непосредственно истирающим воздействием самой внешней среды (см. также *Коррозионная стойкость*). Методы защиты от К. м.: использование *коррозионностойких материалов*; рациональное конструирование и эксплуатация металлических сооружений и деталей (исключение металлических контактов из разнородных металлов, устранение щелей и зазоров в конструкции),

нанесение защитных покрытий — на органической (напр., лакокрасочные) или неорганической (окисные, фосфатные, хроматные, см. *Окислы*, *Фосфаты*, *Хроматы*) основе, а также металлических (см. *Металлизация*, *Гальванические покрытия*, *Диффузионные покрытия*, *Плакирование*); обработка среды — понижение ее коррозионной активности (нейтрализация кислых сред, обескислороживание воды для паровых котлов, применение ингибиторов коррозии); электрохим. защита, основанная на катодной поляризации (наложением внешнего тока, применении протекторов, анодной поляризации внешним током, применении электродренажа, протекторов с выпрямителями. Наиболее эффективным методом защиты от электрохим. коррозии является обычно тот, к-рый тормозит преим. осн. контролирующую стадию коррозионного процесса. При параллельном применении нескольких методов защиты, как правило, легче добиться защитного эффекта, если все методы действуют преим. на эту осн. стадию процесса. И наоборот, одновременное применение нескольких методов, действующих на различные контролирующие стадии коррозионного процесса, является, как правило, менее эффективным, а иногда и вредным. При повышении сопротивления стали коррозионно-мех. разрушению (коррозионной усталости, коррозионному растрескиванию) добиваются не только улучшения электрохим. св-в, но и оптимального напряженного состояния. Поэтому методы, повышающие коррозионную стойкость металла, не всегда эффективны при защите его от коррозии под напряжением. К эффективным методам защиты изделий от коррозионной усталости и коррозионного растрескивания относятся те, что создают в их поверхностных слоях остаточные напряжения сжатия и высокую однородность электрохим. св-в. К ним относятся *диффузионное азотирование*, *алитирование*, *хромирование*, *поверхностное пластическое деформирование*, *поверхностная закалка* токами высокой частоты, создание в поверхностных слоях изделий специфических нетравящихся структур — сплошных «белых слоев», являющихся

катодах по отношению к сердцевине. Эти слои характеризуются повышенной вязкостью и остаточными напряжениями сжатия.

Лит.: Рябченков А. В. Коррозионно-усталостная прочность стали. М., 1953; Карпенко Г. В. Влияние активных жидких сред на выносливость стали. К., 1955; Гликман Л. А. Коррозионно-механическая прочность металлов. М.—Л., 1955; Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов. М., 1960; Карпенко Г. В. [и др.]. Упрочнение стали механической обработкой. К., 1966; Скорчеллетти В. В. Теоретические основы коррозии металлов. Л., 1973; Ажогин Ф. Ф. Коррозионное растрескивание и защита высокопрочных сталей. М., 1974; Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов. Пер. с англ. М., 1962; Логан Х. Л. Коррозия металлов под напряжением. Пер. с англ. М., 1970. Ю. И. Бабеи.

КОРУНД (от санскр. курувинда — рубин), Al_2O_3 — минерал класса окислов; природная модификация глинозема, отвечающая искусственному $\alpha-Al_2O_3$. Природные драгоценные разновидности: *лепидоксапфир* (бесцветный), *сапфир* (синий разных оттенков), *рубин* (красный), *восточный топаз* (желтый), *восточный аквамарин* (зеленовато-голубой), *индиго-сапфир* (темно-синий), *аметист-сапфир* (фиолетовый) и др. К. — практически чистый глинозем. Обычно содержит примеси железа (до 2%), хрома, титана, марганца, ванадия, никеля (0, 1% и менее) и др. элементов. Структура координационная, сингония тригональная, вид симметрии тригонально-скаленоэдрический. Часто наблюдаются хорошо образованные кристаллы — боченковидные, дипирамидальные, призматические, таблитчатые и столбчатые, иногда ромбоэдрические с гранями гексагональной призмы $\{11\bar{2}0\}$, гексагональных дипирамид $\{22\bar{4}1\}$, $\{22\bar{4}3\}$, ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$ и пинакоида $\{0001\}$. Двойники полисинтетические по $\{10\bar{1}1\}$, редко наблюдаются двойники по $\{0001\}$. Обычно бывает вкрапленным в породу, но известны месторождения сплошных зернистых масс. Часто содержит включения *рутила*, *гематита*, *илменита*, *гранатов*, *шпинели* и др. Отдельность по $\{0001\}$ и по $\{10\bar{1}1\}$, изредка по $\{11\bar{2}0\}$. Плотность 3,95—4,10 г/см³. Твердость 9. Чи-

стый К. бесцветен. Окраска обусловлена примесными ионами: хрома (красная, желтая), титана и железа (фиолетово-синяя), никеля и железа (оранжевая), ванадия и хрома (фиолетово-розовая), встречается также коричневая и черная (см. *Цвет минералов*). Блеск алмазный до стеклянного (см. *Блеск минералов*). Обычно просвечивает в тонких осколках, драгоценные разновидности прозрачны. В шлифах в проходящем свете бесцветен, розовый, синий и зеленоватый. Окрашенные кристаллы плеохроируют $N_0 > N_e$. Одноосный, но часто аномально двухосный ($-2V = 10-12^\circ$). Показатели преломления: $n_0 = 1,767$; $n_e = 1,759$; $n_0 - n_e = 0,008$. У окрашенных разновидностей, содержащих примеси, показатели преломления увеличиваются на 0,002 — 0,004. Нерастворим в к-тах. Огнеупорен, т-ра плавления $2047 \pm 8^\circ C$. Широко распространен в природе. Образование связано с магматической деятельностью, контактовым или региональным метаморфизмом. К. — породообразующий минерал *наждаков* (тонко-, мелко- и среднезернистых пород, содержащих, кроме К., магнетит, гематит и шпинели). Обнаружен в некоторых бокситах, кварцитах, десилицированных *пегматитах* и др. породах. Получен при нагревании гелей Al_2O_3 , $\gamma-Al_2O_3$, $Al(OH)_3$ (гиббита), $AlOON$ (диаспора) и $AlCl_3 \cdot 6H_2O$. В пром-сти получают плавлением бокситов. Для выращивания *монокристаллов* К. используют методы Вернейля и Чохральского. Природный К. и наждак используют как *абразивный материал* *на огнеупорной матрице*. Прозрачные окрашенные разновидности (рубин, сапфир и др.) — драгоценные камни. При плавлении в электр. печах высококачественных бокситов и др. высокоглиноземистых пород получают материалы: *алунд* (корунд + SiO_2), *корракс* (электрокорунд), *микролит* и *лукалокс*. Алунд и корракс используют как абразивные и огнеупорные материалы, в электротехнической керамике (для высоко- и низкочастотных изоляторов). Микролит характеризуется ультра-

микроскопическим размером зерен и высокой режущей способностью. Применяется в инструментальной керамике. Лукалокс (просвечивающая керамика из корунда) получают прессованием и обжигом поликристаллического К. Применяют в машиностроении, оптике и электронике, используют в светотехнике в виде трубок вместо нитей накаливания электр. ламп (повышая тем самым яркость света в шесть раз). *Нитевидные кристаллы* (вискеры), обладающие высокой прочностью на растяжение, используют в качестве *армирующего материала*. Искусственные монокристаллы К. употребляют для изготовления точных приборов (электросчетчиков, электроизмерительных и авианавигационных приборов), часовых камней, в оптических генераторах (лазерах) и в ювелирном деле.

Лит.: Минералы. Справочник, т. 2, в. 2. М., 1965; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хаун Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 5. Пер. с англ. М., 1966; Вильке К. Т. Методы выращивания кристаллов. Пер. с нем. Л., 1968. Л. И. Горогоцкая.

КОЭРЦИТИВНАЯ СИЛА (от лат. *coercitor* — обуздывающий) — напряженность намагничивающего поля, при которой магнитная индукция или намагниченность предварительно намагниченного материала сводится к нулю. Различают К. с. по индукции H_c ($H_{св}$) и К. с. по намагниченности $H_{сI}$. По величине К. с. магн. материалы подразделяют на *магнитно-мягкие материалы*

$H_c \leq 1$ кА/м и *магнитно-твердые материалы* с $H_c \geq 4$ кА/м. Магнитно-мягкие материалы с величиной коэрцитивной силы более 1 кА/м находят ограниченное применение. Хотя $H_{сI} > H_c$, для магнитно-мягких материалов $H_{сI} = H_c$ (табл.).

К. с. магнитно-мягких материалов определяется в основном внутренними неоднородностями (*порами*, немагнитными включениями), градиентами напряжений и микроскопическими магн. полями вокруг парамагнитных включений и пустот, задерживающих смещение границ доменов (часть объема материала, намагниченных до насыщения) в ходе перемагничивания. В магнитно-твердых материалах большое значение К. с. обуславливается либо значительной задержкой процессов смещения границ доменов, либо однодоменным состоянием, связанным с высокой кристаллографической *магнитной анизотропией* и анизотропией формы частиц. В материалах, состоящих из слабо взаимодействующих однодоменных частиц, намагничивание происходит только благодаря вращению вектора намагниченности, что требует больших перемагничивающих полей, величина к-рых и определяет большое значение коэрцитивной силы. К. с. в значительной степени зависит от структуры материала (распределения фаз, размеров и формы ферромагнитных зерен или частиц, величины и распределения внутренних напряжений и т. п.) и размеров образца. Так, у тороидальных образцов из чистого железа с крупными зернами $H_c \approx 10^{-3}$ кА/м, а у высокодис-

Коэрцитивная сила магнитных материалов

Материал	Состав, %	H_c , кА/м	$H_{сI}$, кА/м
Супермаллой	16 Fe, 79 Ni, 5 Mo	$0,16 \cdot 10^{-3}$	—
Железо чистое	99,95 Fe	$0,8 \cdot 10^{-3}$	—
Никелевоцинковый феррит	48,5 Fe ₂ O ₃ , 35,5 ZnO, 16 NiO	$4 \cdot 10^{-3}$	—
Электротехническая сталь	96 Fe, 4 Si	$40 \cdot 10^{-3}$	—
Альни (ЮНД4)	55,2 Fe, 25 Ni, 15,5 Al, 4 Cu, 0,3 Ti	40	41,7
Кобальт—платина	23 Co, 77 Pt	380	520
Кобальт—самарий	63 Co, 37 Sm	600	1560

рсных порошков железа, состоящих из удлиненных частиц с поперечным размером $0,05 \text{ мкм}$, $H_c \approx 10^2 \text{ кал/м}$. Величину K с. одного и того же образца можно изменять на несколько порядков, применяя различные виды мех. и термической обработки. Все виды пластического деформирования (скручивание, изгиб, смятие, резка, штампование) вызывают рост K с. магнитно-мягких материалов. Для уменьшения K с. железа используют многократный вакуумный переплав, отжиг в водороде при т-ре, близкой к т-ре плавления, выращивание крупных зерен и термообработку в магн. поле. Миним. значением K с. обладает *супермаллой*. K с. магнитно-твердых материалов повышают, создавая дисперсные включения, ферромагнитные однодоменные частицы в слабомагнитной основе, сплавы с высоким значением кристаллографической магн. анизотропии. У большинства магн. материалов K с. уменьшается с повышением т-ры, лишь у гексаферритов бария, стронция и свинца температурный коэфф. K с. положителен. Высокой температурной стабильностью K с. отличаются пост. магниты на основе высокодисперсных порошков железа и сплава железо—кобальт. Металлические магн. материалы обычно более термостабильны, чем *ферримагнитные материалы*. K с. измеряют с помощью установок, предназначенных для определения петли гистерезиса, и спец. приборов — коэрцитиметров. Чтобы измерить K с. по петле гистерезиса, используют импульсно-индукционный, магнитометрический и динамический методы, а также их разновидности. По импульсно-индукционному методу перемагничиванием добиваются заданного изменения магн. потока, в результате к-рого индукция (намагниченность) принимает нулевое значение. Мерой K с. является величина напряженности обратного по отношению к предварительной намагниченности магн. поля, определяемая по величине тока в намагничивающей обмотке образца замкнутой формы или при помощи датчика магн. поля в образцах разомкнутой формы. Для измерения магн. потока используют баллистические галь-

ванометры, веберметры, флюксметры и электронные интеграторы различных типов. По магнитометрическому методу образец размагничивают в поле электромагнита до нулевого значения намагниченности. Динамический метод заключается в перемагничивании образца перемен. магн. полем с последующей индикацией потока магн. индукции на экране осциллографа или получением графика на бумаге в координатах $B-H$ ($I-H$). В коэрцитиметрах, представляющих собой соленоид (электромагнит), снабженный устройствами для измерения напряженности магн. поля в индукции (намагниченности) в образце, испытывают разомкнутые образцы и магниты как простой, так и сложной формы. Предварительно намагниченный в коэрцитиметре или др. устройстве образец размагничивают до полного исчезновения намагниченности, к-рое отмечается датчиком Холла, вибрирующей катушкой или др. индикатором. Измеренная при этом напряженность поля определяет K с. образца.

Лит.: Февралева Н. Е. Магнитно-твердые материалы и постоянные магниты. К., 1969; Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971; Постоянные магниты. Справочник. М., 1971; Преображенский А. А. Магнитные материалы и элементы. М., 1976. Л. Н. Тульчинский.

КРАСНОЛОМКОСТЬ — свойство стали резко повышать *хрупкость* при горячем пластическом деформировании в области т-р красного или желтого каления. Обусловливается повышенным содержанием меди или серы. Приводит к появлению *трещин* и разрушению заготовок при больших степенях обжатия. Одним из проявлений K служит также наличие *волосов* на поверхности ковanych или катаных заготовок. В медистой стали этот дефект вызывается скоплением в поверхностных слоях заготовок (под слоем *окалины*) некоторого количества меди вследствие избирательного окисления железа. Медь в результате *диффузии* скапливается по *границам зерен* и, плавясь при температуре нагрева выше т-ры ее плавления, нарушает прочную связь между зернами. При

закалке окалина отслаивается, и на поверхности заготовок остается тонкий слой меди, придающей им золотистый оттенок. Введение в медистую сталь никеля (в количестве, не меньшем количества меди) влечет за собой образование под окалиной слоя медноникелевого сплава с высокой т-рой плавления. Во время горячего пластического деформирования такой сплав не образует жидкой фазы и, следовательно, дефект не возникает. Чтобы избежать К., заготовки из медистой стали перед горячим пластическим деформированием нагревают в восстановительной среде, препятствующей избирательному окислению железа на поверхности и скоплению избытка меди, или до т-ры не выше т-ры плавления меди. В сталях с высоким содержанием серы (0,3%), легированных никелем, кобальтом или молибденом, К. связана с образованием *сульфидами* этих хим. элементов и сульфидами железа легкоплавкой *эвтектики*, располагающейся по границам зерен (напр., эвтектика, содержащая сульфид никеля, плавится при т-ре 645° С). Для предотвращения К. эти стали обрабатывают *ферромарганцем*, легируют алюминием, хромом, марганцем, цирконием или титаном — хим. элементами, образующими тугоплавкие сульфиды, к-рые не дают легкоплавких эвтектик. Продукты раскисления, содержащие *силикаты*, не растворяются в стали, а легко коагулируют и всплывают в шлак. Такое же влияние на К. оказывает церий в соединении с др. редкоземельными элементами. Частичное растворение сульфидов никеля происходит в процессе длительного *отжига* при т-ре 1000—1050° С; нерастворенные включения располагаются при этом более равномерно по объему зерна, не ослабляя границы зерен. Такой отжиг, а также увеличение длительности выдержки при нагреве перед горячим пластическим деформированием также способствуют уменьшению краснотомкости.

Лит.: Вязников Н. Ф. Легированная сталь. М., 1963; Гудремон Э. Специальные стали. Пер. с нем. т. 1—2. М., 1966. В. И. Лизунов.

КРЕМЕНИ — минеральное образование, состоящее из кристаллического и крипнокристаллического кремнезема. Синонимы: *флинт*, *силекс*, *силицификат*. Минералы, слагающие К., — *халцедон*, *кварц* и низкотемпературный кристобалит. По форме нахождения в толще осадочных пород различают К. конкреционные и пластовые. Конкреционные К. содержатся гл. обр. в известняках и доломитах, реже — в мергелях, спорадически — в алевропесчаных и глинистых породах. Форма К. округлая, корневидная, желваковая, палочковидная (опиоморфовая), трубчатая, сотовидная, пластинчатая и др. В толще карбонатных пород они обычно приурочены к определенным слоям, однако в разрезе могут быть размещены и беспорядочно. По минер. составу конкреционные К. подразделяют на кристобалит-кальцитовые, кристобалит-халцедоновые, халцедоновые и кварцево-халцедоновые. Хим. состав черных кварцево-халцедоновых К. туранского мела Подолья, УССР (%): SiO_2 — 93,48 ÷ 96,28; Al_2O_3 — сл. ÷ 0,50; FeO — 1,06 ÷ 5,06; Fe_2O_3 — 0,20 ÷ 0,50; CaO — 0,10 ÷ 0,59; MgO — 0,0 ÷ 0,20; K_2O — сл. ÷ 0,02; Na_2O — 0,07 ÷ 0,14; H_2O^- — 0,20 ÷ 0,36; H_2O^+ — 1,02 ÷ 1,46; SO_3 — 0,31 ÷ 0,58. Текстура пятнистая, реже — полосчатая или агатовидная; излом раковистый, гладкий; блеск полуматовый; *твердость* около 7. Различают также конкреционные К. стадий диагенеза, катагенеза и гипергенеза. Наиболее высококремнистыми являются кварцево-халцедоновые К. стадии раннего диагенеза, иногда — стадии гипергенеза. Структура К. кристаллическая (гетеробластовая). Под электронным микроскопом обнаруживаются микроструктуры агрегатно-кристалломорфная, субкристалломорфная, глобулярная и коллоидморфная. Пластовые К. встречаются в кремнистых, карбонатно-кремнистых, глинисто-кремнистых и туфо-кремнистых толщах в виде слоев мощностью от 0,1—3,0 до нескольких десятков метров и больше. Их формирование связано с кремневым метасоматозом слоистых карбонатных пород, вторичным изменением *диатомитов*, *трепелов* и *опок*. Со-

дрожжание осн. компонентов (%): $\text{SiO}_2 - 53 \div 95$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,4 \div 3,5$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,2 \div 2,0$; $\text{CaO} - 0,10 \div 30$; $\text{MgO} - 0,0 \div 0,8$. Сложные халцедоном с примесями тонкорасеянного кальцита, иногда доломита, пирита и глинистых минералов. В пустотах иногда содержатся крупные друзы кристаллов кварца, выделения халцедона, иногда барита, кальцита. К. используют для изготовления абразивных материалов, ювелирных изделий и поделок, лабораторного оборудования, кислотоупорных и огнеупорных материалов, как помолочный материал (шары для мельниц), при изготовлении высокосортных керамических масс и др.

Лит.: Бушинский Г. И. Литология меловых отложений Днепровско-Донецкой впадины. М., 1954; Хворова И. В. Кремненакопление в геосинклинальных областях прошлого. В кн.: Осадкообразование и полезные ископаемые в тектонических областях прошлого, т. 1. М., 1968; Сеньковский Ю. М. Силити крейды південно-західного схилу Східно-Європейської платформи. К., 1973.

Ю. Н. Сеньковский.

КРЕМНЕЗЕМ — то же, что и *двуокись кремния*.

КРЕМНИЕВЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы *кремния* различной формы. Хим. состав К. п. определяется методом произ-ва. Получают порошок в основном дроблением кускового технического кремния или кремния полупроводниковой чистоты. Менее распространен способ получения К. п. термическим разложением моносилана (SiH_4) при т-ре $400-800^\circ\text{C}$ в условиях температурного градиента. Частицы образующегося при этом порошка (их размер $50 \div 150 \text{ \AA}$) представляют собой ядро кремния, окруженное полисиланами. Дальнейшее прокачивание в вакууме позволяет получить порошок достаточно высокой степени чистоты. К. п. зернистостью 60 мкм уплотняют при давлении 1400 кгс/см^2 и т-ре 1300°C до пористости 20%. Создан также метод получения порошка (размер частиц $100 \div 300 \text{ \AA}$) восстановлением *двуокси кремния* магнием. Как правило, К. п., а также смеси кремния с другими элементами прессуют и спекают в защитной среде. К. п. используют при произ-ве (методами порошко-

вой металлургии) *силицидов* некоторых элементов, *кремния сплавов*, карбида кремния (абразива), полупроводникового карбида кремния и др.

Лит.: Салли И. В., Фалькевич Э. С. Производство полупроводникового кремния. М., 1970; Венгян С. И., Чистяков А. С. Технический кремний. М., 1972; Реньян В. Р. Технология полупроводникового кремния. Пер. с англ. М., 1969.

Э. С. Фалькевич.

КРЕМНИЙ (Silicium), Si — хим. элемент IV группы *периодической системы элементов*; ат. н. 14, ат. м. 28,086. Кристаллический К. — темно-серое вещество со смолистым блеском. В большинстве соединений проявляет степени окисления — 4, +2 и +4. Природный К. состоит из стабильных изотопов ^{28}Si (92,28%), ^{29}Si (4,67%) и ^{30}Si (3,05%). Получены радиоактивные изотопы ^{27}Si , ^{31}Si и ^{32}Si с периодами полураспада соответственно 4,5 сек, 2,62 ч и 700 лет. К. впервые выделен в 1811 франц. химиком и физиком Ж. Л. Гей-Люссаком и франц. химиком Л. Ж. Тенаром, но идентифицирован лишь в 1823 швед. химиком и минералогом Й. Я. Берцелиусом. По распространенности в земной коре (27,6%) К. — второй (после кислорода) элемент. Находится преим. в форме кремнезема SiO_2 и др. кислородсодержащих веществ (*силикатов*, *алюмосиликатов* и т. д.). При обычных условиях образуется стабильная полупроводниковая модификация К., отличающаяся *гранецентрированной кубической* структурой типа алмаза, с периодом $a = 5,4307 \text{ \AA}$.

Межатомное расстояние $2,35 \text{ \AA}$. Плотность $2,328 \text{ г/см}^3$. При высоком давлении ($120-150 \text{ кбар}$) переходит в более плотные полупроводниковые и металлическую модификации. Металлическая модификация — сверхпроводник с т-рой перехода $6,7 \text{ К}$. С ростом давления точка плавления понижается с $1415 \pm 3^\circ\text{C}$ при давлении 1 бар до 810°C при давлении $15 \cdot 10^4 \text{ бар}$ (тройная точка сосуществования полупроводникового, металлического и жидкого К.). При плавлении происходят увеличение координационного числа и ме-

таллизация межатомных связей. Аморфный К. по характеру ближнего порядка, отвечающего сильно искаженной объемноцентрированной кубической структуре, близок к жидкому. Дебаевская т-ра близка к 645 К. Коэфф. температурного линейного расширения изменяется с изменением т-ры по экстремальному закону, ниже т-ры 100 К он становится отрицательным, достигая минимума $(-0,77 \cdot 10^{-6}) \text{ град}^{-1}$ при т-ре 80 К; при т-ре 310 К он равен $2,33 \times 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, а при т-ре 1273 К — $4,8 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Теплота плавления 11,9 ккал/г-атом; $t_{\text{кип}}$ 3520 К. Теплота сублимации и испарения при т-ре плавления соответственно 110 и 98,1 ккал/г-атом. Теплопроводность и электропроводность К. зависят от чистоты и совершенства кристаллов. С ростом т-ры коэфф. теплопроводности чистого К. вначале увеличивается (до $8,4 \text{ кал/см} \times \text{сек} \cdot \text{град}$ при т-ре 35 К), а затем убывает, достигая 0,36 и 0,06 кал/см · сек · град при т-ре соответственно 300 и 1200 К. Энтальпия, энтропия и теплоемкость К. в стандартных условиях равны соответственно 770 кал/г-атом, 4,51 и 4,83 кал/г-атом · град. К. диамагнитен, магнитная восприимчивость твердого $(-1,1 \cdot 10^{-7} \text{ э.м.е./г})$ и жидкого $(-0,8 \cdot 10^{-7} \text{ э.м.е./г})$. К. слабо зависит от т-ры. Поверхностная энергия, плотность и кинематическая вязкость жидкого К. при т-ре плавления составляют 737 эрг/см², 2,55 г/см³ и $3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{сек}$. Кристаллический К. — типичный полупроводник с шириной запрещенной зоны 1,15 эв при т-ре 0 К и 1,08 эв — при т-ре 300 К. При комнатной т-ре концентрация собственных носителей зарядов близка к $1,4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, эффективная подвижность электронов и дырок — соответственно 1450 и 480 см²/в · сек, а удельное электрическое сопротивление — $2,5 \cdot 10^5 \text{ ом} \cdot \text{см}$. С ростом т-ры они изменяются по экспоненциальному закону. Электр. св-ва К. зависят от природы и концентрации примесей, а также от совершенства кристалла. Обычно для получе-

ния полупроводниковых К. с проводимостью р- и n-типа его легируют элементами IIIв (бором, алюминием, галлием) и Vв (фосфором, мышьяком, сурьмой, висмутом) подгрупп, создающими совокупность соответственно акцепторных и донорных уровней, расположенных вблизи границ зон. Для легирования используют и др. элементы (напр., золото), формирующие т. н. глубокие уровни, к-рые обуславливают захват и рекомбинацию носителей зарядов. Это позволяет получать материалы с высоким электр. сопротивлением ($10^{10} \text{ ом} \cdot \text{см}$ при т-ре 80 К) и небольшой продолжительностью существования неосновных носителей зарядов, что важно для увеличения быстродействия различных устройств. Коэфф. термоэде К. существенно зависит от т-ры и содержания примесей, увеличиваясь с ростом электросопротивления (при $\rho = 0,6 \text{ ом} \cdot \text{см}$, $\alpha = 10^3 \text{ мкв/град}$). Диэлектрическая проницаемость К. (от 11 до 15) слабо зависит от состава и совершенства монокристаллов. Закономерности оптического поглощения К. сильно изменяются с изменением его чистоты, концентрации и характера дефектов строения, а также длины волны. Граница непрямого поглощения электромагнитных колебаний близка к 1,09 эв, прямого поглощения — к 3,3 эв. В видимой области спектра параметры комплексного показателя преломления ($n - ik$) весьма существенно зависят от состояния поверхности и наличия примесей. Для особо чистого К. (при $\lambda = 5461 \text{ Å}$ и т-ре 293 К) $n = 4,056$ и $k = 0,028$. Работа выхода электронов близка к 4,8 эв. К. хрупок. Его твердость (т-ра 300 К) по Моосу — 7; $HB = 240$; $HV = 10^3$; $H = 1250 \text{ кгс/мм}^2$; модуль норм. упругости (поликристалла) 10890 кгс/мм^2 . Предел прочности зависит от совершенства кристалла: на изгиб от 7 до 14, на сжатие от 49 до 56 кгс/мм²; коэфф. сжимаемости $0,325 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{кг}$. При комнатной т-ре К. практически не взаимодействует с газообразными (исключая фтор) и твердыми реагентами, кроме щелочей. При повышенной т-ре активно взаимодействует с металлами и неметаллами. В частности, образу-

ет карбид SiC (при т-ре выше 1600 K), нитрид Si_3N_4 (при т-ре выше 1300 K), фосфид SiP (при т-ре выше 1200 K) и арсениды SiAs, SiAs₂ (при т-ре выше 1000 K). С кислородом реагирует при т-ре выше 700 K, образуя двуокись SiO₂, с галогенами — фторид SiF₄ (при т-ре выше 300 K), хлорид SiCl₄ (при т-ре выше 500 K), бромид SiBr₄ (при т-ре 700 K) и йодид SiI₄ (при т-ре 1000 K). Интенсивно реагирует со мн. металлами, образуя *твердые растворы* замещения в них или хим. соединения — *силициды*. Концентрационные области гомогенности твердых растворов зависят от природы растворителя (напр., в германии от 0 до 100%, в железе до 15%, в альфа-цирконии менее 0,1%). *Растворимость* металлов и неметаллов в твердом K. значительно меньше и обычно регрессивна. При этом предельные содержания примесей, создающих в K. неглубокие уровни, достигают максимума (кислород $2 \cdot 10^{18}$, азот 10^{18} , алюминий $2 \cdot 10^{19}$, фосфор 10^{21} , мышьяк $2 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$) в области т-р от 1400 до 1600 K. Примеси с глубокими уровнями отличаются заметно меньшей растворимостью (от 10^{15} для селена и $5 \cdot 10^{16}$ для железа до 7×10^{17} для никеля и 10^{18} см^{-3} для меди). В жидком состоянии K. неограниченно смешивается со всеми металлами, часто с весьма большим выделением тепла. Чистый K. готовят из технического продукта (~ 99% Si и по ~ 0,03% Fe, Al и Co), получаемого восстановлением кварца углеродом в электр. печах. Вначале из него отмывают к-тами (смесью соляной и серной, а затем фтористоводородной и серной) примеси, после чего полученный продукт (99,98%) обрабатывают хлором. Синтезированные хлориды очищают дистилляцией. Полупроводниковый K. получают восстановлением хлорида SiCl₄ (или SiHCl₃) водородом или термическим разложением гидрида SiH₄. Окончательную очистку и выращивание монокристаллов осуществляют бестигельной зонной плавкой или по методу Чохральского, получая особо чистые слитки (содержание примесей до 10^{10} — 10^{13} см^{-3}) с $\rho \geq 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$. В зависимости от назначения K. в процессе пригото-

вления хлоридов или при выращивании монокристаллов в них вводят дозированные количества необходимых примесей. Так готовят цилиндрические слитки диаметром 2—4 и длиной 3—10 см. Для спец. целей выпускают и более крупные монокристаллы. Технический K. и особенно его сплавы с железом используют в качестве *раскислителей* стали и восстановителей, а также легирующих присадок. Особо чистые образцы монокристаллического K., легированного различными элементами, находят применение в качестве основы разнообразных слаботочных (в частности, термоэлектрических, радио-, свето- и фототехнических) и сильноточных (выпрямители, преобразователи) устройств. См. также *Кремниевый порошок*.

Лит.: Красюк Б. А., Грибов А. И. Полупроводники — германий и кремний. М., 1961; Глазов В. М., Чижевская С. Н., Глаголева Н. Н. Жидкие полупроводники. М., 1967; Аскеров Б. М. Кинетические эффекты в полупроводниках. Л., 1970; Термические константы веществ. Справочник, в. 4, ч. 1. М., 1970; Компенсированный кремний. Л., 1972; Мазель Е. З., Пресс Ф. П. Плаварная технология кремниевых приборов. М., 1974; Реньян В. Р. Технология полупроводникового кремния. Пер. с англ. М., 1969.

П. В. Гельд.

КРЕМНИСТАЯ БРОНЗА — бронза, основным легирующим элементом которой является *кремний*. Применяется с конца 19 в. Есть K. б. деформируемые (см. *Деформируемая бронза*) и литейные (см. *Литейная бронза*) (табл. 1, 2 с. 644). Деформируемые K. б. поддаются обработке в горячем и холодном состоянии, обладают хорошей *коррозионной стойкостью*. Добавка в них марганца оказывает рафинирующее воздействие: марганец в виде окиси взаимодействует с частицами *двуокиси кремния*, снижающими *жидкотекучесть* и прочностные характеристики, образуя *силикаты*, которые всплывают и удаляются из расплава со шлаком. Под влиянием свинца сплав при горячей обработке давлением разрушается. В литейных сплавах свинец улучшает антифрикционные св-ва и обрабатываемость. Добавка цинка облегчает плавление сплава,

улучшает его мех. и технологические св-ва, повышает коррозионную стойкость. Никель, кобальт и хром улучшают мех. св-ва сплава. Примесь алюминия вызывает пористость литых изделий. Примеси висмута, мышьяка, сурьмы, серы и фосфора ухудшают мех. св-ва. Выплавляют К. б. в индукционных печах, в печах типа АЯКС и ДМК. Особенностью деформируемых и литейных К. б. является склонность к поглощению газов при выплавке, вследствие чего ее ведут под слоем древесного угля или *флюсов*. Полуфабрикаты из К. б. изготавливают в виде поковок, лент, прутков, полос и др. Перед прокаткой или штампованием слитки нагревают до т-ры 890—910° С. Если необходима дальнейшая обработка давлением, прокатанный полуфабрикат снова нагревают (до т-ры 870—900° С).

Прутки подвергают прочняющей термической обработке. Для бронз, содержащих никель, кобальт и хром, *закалку* ведут от т-ры 850—870° С, старение — при т-ре 500—450° С с выдержками 0,5 ÷ 3 ч и охлаждением на воздухе. К. б. применяют для изготовления пружин и пружинящих деталей, металлических сеток, решеток и труб, испарителей, дымо-вых фильтров, антифрикционных деталей, деталей в сварных конструкциях.

Лит.: Мальцев М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М., 1970; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974. В. В. Казарцев.

КРЕМНИСТАЯ ЛАТУНЬ — латунь, основным легирующим элементом которой является *кремний*. Используется с середины 19 в. Есть К. л. деформируемые (см. *Деформируемая латунь*) и литейные (см. *Литейная латунь*) (табл. 1, 2 с. 645). Деформируемые К. л. отличаются высокой

Таблица 1. Химический состав кремнистых бронз

Марка бронзы	Содержание элементов, %				
	Cu	Si	Mn	Ni	Zn
Деформируемые бронзы					
БрКМцЗ-1	Основа	3	1	—	—
БрКЗ	»	3	—	—	—
Литейные бронзы					
БрКЦЗ-9	Основа	3	—	—	9
БрКЦ4-4	»	4	—	—	4
БрКН1-3	»	0,6—1,1	0,1—0,4	2,4—3,4	—

Таблица 2. Свойства кремнистых бронз

Марка бронзы	D , г/см ³	λ , кал/см×сек×град	ρ , ом·мм ² /м	$\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹	E , кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	НВ
Деформируемые бронзы								
БрКМцЗ-1	8,4	0,8—0,11	0,15	15,8	12 000	38—90	1—2	90
БрКЗ	—	—	—	—	—	25	10—20	—
Литейные бронзы								
БрКЦЗ-9	—	—	—	—	—	25	10—20	—
БрКЦ4-4	—	—	—	—	—	30	10	—
БрКН1-3	8,6	—	0,046	18	—	60	12	175

коррозионной стойкостью на воздухе и в морской воде, более стойки против коррозионного растрескивания, чем обычные латуни, хорошо свариваются и паяются обычными припоями, легко поддаются обработке давлением в холодном и горячем состоянии. Не теряют своей прочности и вязкости при низкой т-ре (до -183°C), а также обладают высокой жидкотекучестью, что обеспечивает их применение и как литейных сплавов. Литейные К. л. отличаются повышенной твердостью, но малой пластичностью, при охлаждении дают значительную объемную усадку, вызывающую при кристаллизации образование усадочных раковин и межкристаллитной пористости. Увеличение содержания кремния способствует повышению плотности литья и его коррозионной стойкости. Добавка свинца улучшает антифрикционные св-ва и обраба-

тываемость резанием. Примеси железа и алюминия снижают прочностные и антифрикционные св-ва. Расплав К. л. склонен к газопоглощению и образованию окисных пленок, поэтому плавку ведут интенсивно, в слабо окисляющей среде, без перегрева, заливку — при минимально возможной т-ре. Полуфабрикаты из К. л. изготовляют в виде слитков, лент, прутков, труб и пр. К. л. применяют в судо- и машиностроении, для изготовления втулок, подшипников и др. антифрикционных деталей взамен деталей из оловянистых бронз. Хим. состав и св-ва К. л. регламентируют ГОСТы 15527—70 и 17711—72.

Лит.: Сучков Д. И. Медь и ее сплавы. М., 1967; Мальцев М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М., 1970; Смирня-

Таблица 1. Химический состав кремнистых латуней

Марка латуни	Содержание элементов, %				
	Cu	Si	Pb	Zn	Примеси
Деформируемые латуни					
ЛК80-3	79—81	2,5—4,0	—	Остальное	1,5
ЛКС65-1,5-3	63,5—66,5	1,0—2,0	2,5—3,5	»	0,5
Литейные латуни					
ЛКС80-3-3	79—81	2,5—4,5	2,0—4,0	»	2,0
ЛК80-3Л	79—81	2,5—4,5	—	»	2,8

Примечание: Сплав марки ЛКС65-1,5-3 нестандартный.

Таблица 2. Свойства кремнистых латуней

Марка латуни	D , г/см ³	$t_{пл}$, °C	ρ , ом·мм ² /м	Усадка, %	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	$\sigma_{пл}$, кгс/мм ²	α_H , кгс/мм ² × м/с ²	НВ
Деформируемые латуни									
ЛК80-3	8,6	890	0,2	1,7	30—46	15—40	10,5	12—16	95—110
ЛКС65-1,5-3	8,5	—	—	—	30	15—20	16	2,2	80
Литейные латуни									
ЛКС80-3-3	8,6	890	—	1,7	30—40	15—25	14	4	90—100
ЛК80-3Л	8,3	890	—	1,7	30	15—20	14	12	95—110

Примечание: Сплав марки ЛКС65-1,5-3 нестандартный.

гин А. П., Смиркина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

КРЕМНИСТАЯ СТАЛЬ — сталь, легированная кремнием. К. К. с. (табл. 1) относятся: конструкционные стали (в частности, пружинные), в к-рые для повышения прочностных св-в добавляют кремний (0,5—3%); стали с особыми физ. св-вами — с высокой магнитной проницаемостью, с малыми потерями на перемагничивание и на вихревые токи (см.

Трансформаторная сталь), содержащие 1—4% Si, а некоторые — до 6% Si; инструментальные стали, в к-рых кремний содержится вместе с др. легирующими элементами. Кремний повышает критические точки A_1 и A_3 при нагреве и охлаждении, сужает гамма-область, несколько увеличивает стойкость переохлажденного аустенита и выделяет особую область промежуточного превращения. Температура мартенситного превращения при легировании кремнием не изменяется. Кремний несколько увеличивает прокаливаемость сталей. Мех. (прочностные) и

Таблица 1. Химический состав кремнистых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %				
	C	Si	Mn	Cr	Прочие
50C2	0,47—0,55	1,5—2,0	0,6—0,9	—	—
55C2A	0,53—0,58	1,5—2,0	0,6—0,9	—	—
60C2A	0,58—0,63	1,6—2,0	0,6—0,9	—	—
70C3A	0,66—0,74	2,4—2,8	0,6—0,9	—	—
60C2XФА	0,56—0,64	1,4—1,8	0,4—0,7	0,9—1,2	0,1—0,2 V
60C2XA	0,56—0,64	1,4—1,8	0,4—0,7	0,7—1,0	—
50XCA	0,45—0,55	0,8—1,2	0,3—0,5	0,9—1,2	—
65C2BA	0,61—0,69	1,5—2,0	0,7—1,0	—	0,8—1,2 W
60C2H2A	0,56—0,64	1,4—1,8	0,4—0,7	—	1,4—1,7 Ni
60CGA	0,56—0,64	1,3—1,8	0,8—1,0	—	—
70C2XA	0,65—0,75	1,4—1,7	0,4—0,6	0,2—0,4	—

Таблица 2. Критические точки, режим термической обработки и свойства горячекатаных кремнистых сталей

Марка стали	Критическая точка, °C		Т-ра закалки, °C	Закалочная среда	Т-ра отпуска, °C	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ_5 , %	ψ , %
	A ₁	A ₃							
50C2	—	—	870	Масло или вода	460	120	110	6	30
55C2	775	840	870	То же	460	130	120	6	30
55C2A									
60C2	750	820	870	Масло	460	130	120	6	25
60C2A	750	820	870	»	420	160	140	6	20
70C3A	—	—	860	»	460	180	160	6	25
60C2XA	—	—	870	»	420	180	160	5	20
65C2BA	—	—	850	»	420	190	170	5	20
60C2H2A	—	—	880	»	420	175	160	6	20
60C2XDA	—	—	850	»	410	190	170	5	20

Примечания: 1. Максимальный предел упругости достигается при т-ре 400—450° С. 2. После отпуска целесообразно ускоренное охлаждение, что создает на поверхности пружины полезные сжимающие напряжения.

технологические св-ва К. с. улучшаются вследствие воздействия кремния на состояние матричной фазы (альфа-твердого раствора) и карбидов после термической обработки. В закаленной стали кремний мало влияет на субструктуру и морфологию кристаллов мартенсита, который в пружинной стали (0,5 — 0,7% С) является внутренне двойникованным. При отпуске мартенсита кремний повышает стойкость эписилон-карбида и т-ру его превращения в цементит. Уменьшая скорость диффузии углерода в альфа-твердом растворе, кремний тормозит коагуляцию карбидов. Кроме того, он стабилизирует субструктуру альфа-фазы и повышает т-ру рекристаллизации. В К. с. после закалки и отпуска альфа-фаза имеет более измельченную субструктуру и более дисперсные частицы карбидов, чем в углеродистой стали после отпуска при такой же т-ре. Эти особенности структуры и атомного строения альфа-твердого раствора, в к-ром кремний создает направленные хим. связи и вызывает процесс упорядочения, повышают сопротивление движению дислокаций при воздействии не только макро-, но, что особенно важно, и микродеформации и определяют основные св-ва пружинных сталей (предел упругости, релаксационную стойкость, усталостную прочность). Обладая хорошим комплексом мех. св-в, К. с. в то же время отличается значительной зональной ликвацией углерода и дендритной ликвацией кремния, ей присуще сильное обезуглероживание в процессе горячего пластического деформирования и термической обработки. Обезуглероживание стали обуславливается происходящей (под действием кремния) диффузией углерода в аустените, что вызывает резкое уменьшение усталостной прочности (в обезуглероженном слое появляются растягивающие остаточные напряжения). К. с. отличается также сравнительно низкой прокаливаемостью и склонностью к росту зерна при повышенной т-ре (более 950° С). Эти недостатки в значительной степени устраняют дополнительным легированием хромом, хромом и ванадием, вольфрамом и никелем. Для улучшения св-в стали

чаще всего используют закалку и среднетемпературный отпуск (табл. 2). После изотермической закалки на нижний бейнит с выдержкой при т-ре несколько выше или даже ниже т-ры мартенситного превращения (обычно при т-ре 320—280° С) повышаются пластичность и вязкость, а также усталостная прочность стали марок 60С2 и 65С2ВА при такой же прочности, что и после закалки и отпуска. Однако предел упругости и релаксационная стойкость К. с. несколько меньше. Повышают их дополнительным отпуском при той же т-ре, что и изотермическое превращение в процессе закалки. Высокотемпературная термомеханическая обработка стали марки 55С2 (т-ра аустенизации 950° С, степень деформации 25%, охлаждение в масле и последующий отпуск при т-ре 250° С в течение 1 ч) увеличивает предел прочности на разрыв до 252 кгс/мм², предел текучести до 208 кгс/мм², относительное удлинение до 5% и относительное сужение до 27%, что значительно выше, чем после обычных закалки и отпуска. Предел упругости стали марки 60С2 повышают динамическим старением (см. Старение металлов), заключающимся в закалке, низкотемпературном отпуске при т-ре 150° С и окончательном отпуске при т-ре 300° С под нагрузкой, соответствующей напряжению 210 кгс/мм². К. с. выплавляют в мартеновских и электр. печах, методом электрошлакового переплава, поставляют в горячекатаном или отожженном состоянии в виде прутков, полос, лент и проволоки, используют в авто-, тракторостанкостроении и на железнодорожном транспорте. Из нее изготавливают пружины, рессоры, подвески, торсионные валы и др. изделия. Марки и хим. состав К. с. приведены в ГОСТе 14959—69.

Лит.: Меськин В. С. Основы легирования стали. М., 1964; Рахштадт А. Г. Пружинные стали и сплавы. М., 1971; Гудремон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966. А. Г. Рахштадт.

КРЕМНИСТЫЙ ЧУГУН — чугун, легированный кремнием. Использует-

ся с начала 20 в. Кремний в большей степени (примерно в полтора раза), чем углерод, ускоряет *графитизацию* эвтектического *цементита*, а на графитизацию *перлита* влияет в два раза слабее углерода. С увеличением содержания кремния повышаются *твердость* и *хрупкость* феррита. Образующийся при значительном содержании кремния (до 18%) кремнистый *феррит* характеризуется высоким сопротивлением росту (см. *Рост чугуна*) и коррозии (см. *Коррозия металлов*), поэтому наряду с кремнистым жаростойким чугуном (*силалом*) широкое применение получил чугун высококремнистый химически стойкий (ферросилид). Ферросилид обладает *жаростойкостью*, *эрозионной стойкостью* и *износостойкостью*, но его мех. св-ва невысоки, он тверд и хрупок (табл.). Некоторое улучшение мех. св-в чугуна достигается увеличением содержания углерода (несколько выше эвтектического), однако при его избытке возможно образование графитной спели, вызывающей недостаточную гидравлическую *плотность*. Микроструктура ферросилида — кремнистый феррит и мелкий междендритный *графит*. Если кремния > 16 %, возможно образование *силицидов*. *Модифицирование* ферросилида способствует образованию паровидного графита, некоторому улучшению мех. св-в, однако коррозионные св-ва существенно не изменяются. Т-ра плавления ферросилида ~ 1200° С, линейная усадка 1,7—2,3%, плотность ~ 6,9 кг/дм³, коэфф. линейного расширения при т-ре от 0 до 200° С составляет $4,7 \times 10^{-6}$. Ферросилид получают в пламенных, мартеновских, дуговых

печах, применяют иногда метод переплава, к-рый снижает содержание газов и повышает плотность отливок. В качестве шихтовых материалов используют высокопроцентный *ферросилиций* (марок ФС45, ФС65, ФС75 и ФС90), чушковый *чугун гематит*, стальной лом и отходы собственного произ-ва (скрап, литники, брак). Ферросилиций с повышенным содержанием алюминия и кальция способствует газовой *пористости* и загрязнению чугуна *пленами* и *неметаллическими включениями*. Чрезмерный перегрев ферросилида ведёт к насыщению газами и образованию трещин. Т-ра ферросилида при выпуске 1300—1340° С, при заливке 1220—1300° С. Ферросилид обрабатывают наждачными кругами или резцами из сверхтвёрдых сплавов. Его *коррозионную стойкость* оценивают на образцах, отливаемых одновременно с изделиями. Ферросилид стоек в окислительных кислотах (азотной, серной, хромовой) при различных т-ре и концентрации, во мн. органических кислотах — уксусной, лимонной, муравьиной, молочной, в фосфорной кислоте при норм. т-ре, в растворах солей и щелочей, в морской воде, едком натре (водном растворе), хлористом кальции, хлорной извести и железе, сероуксусной, синильной кислоте и др. агрессивных средах. Однако коррозионная стойкость ферросилида недостаточна во мн. сильно агрессивных средах (в азотнокислых солях меди, железа, свинца, натрия и калия, в бисульфате натрия, в виннокаменной, галловой, дубильной, монохлоруксусной и пикриновой кислотах, в двухлористом натрии, в железном купоросе, в алюми-

Химический состав и свойства кремнистых чугунов — ферросилидов

Марка чугуна	Содержание элементов, %					σ_B , кгс/мм ²	σ_H , кгс/мм ²	$\sigma_{H'}$, кгс/мм ²	Стрела прогиба ($l = 300$ мм), мм	НВ
	C	Si	Mn	P	S					
				не более						
C-15	0,5—0,8	14,5—16,0	0,3—0,8	0,1	0,07	6—8	17	0,45—0,50	2	300—400
C-17	0,3—0,5	16,0—18,0	0,3—0,8	0,1	0,07	—	14	—	1,5	400—460

новых квасцах, цинковом купоросе, в сулеме и др.). Особенно интенсивно разрушается он под воздействием *хлоридов* при повышенной т-ре (выше 30° С) в слабой соляной кислоте. Ферросилид марки С-17 достаточно стоек в соляной кислоте только при нормальной (до 20° С) т-ре. Коррозионную стойкость ферросилида в соляной кислоте повышают, легируя его молибденом (не менее 2%). Такой чугун наз. *антихлор* (марки МФ-15). Он содержит 0,5—6% С, 15—16% Si, 3,5—4,0% Mo, 0,3—0,5% Mn и не более 0,1% S и P (каждого). С увеличением содержания кремния повышается коррозионная стойкость антихлора, но значительно возрастают твердость и хрупкость. Введение в антихлор, содержащий более 16% Si, молибдена нецелесообразно, поскольку такой сплав обладает высокой твердостью и хрупкостью. Структура антихлора — *твердый раствор* кремния, молибдена и углерода в железе, железомолибденовые *карбиды* и *силициды* молибдена. Мех. и физические св-ва антихлора почти такие же, как и ферросилида: прочность на изгиб 17—25 кгс/мм², стрела прогиба 2—3 мм, предел прочности на растяжение 6—7,5 кгс/мм², ударная вязкость 0,5 кгс · м/см², твердость 400—450 НВ. Добавка никеля (до 2,5%) несколько улучшает коррозионную стойкость антихлора, особенно если молибдена содержится до 3%. В отличие от ферросилида отливки из антихлора плотны, рост их в процессе затвердевания не происходит. Усадка антихлора (2,2% и более) выше, чем ферросилида, вследствие чего ему в большей степени свойственна склонность к появлению внутренних напряжений, к образованию *усадочных раковин* и *рыхлот*. Для снятия внутренних напряжений отливки извлекают из форм при т-ре 800—900° С, загружают в нагретую (до т-ры 800—900° С) печь и после выдержки при этой т-ре охлаждают вместе с печью, т. е. проводят *отжиг*. Выплавляют антихлор в тех же плавильных агрегатах, что и ферросилид. Молибден (в виде *ферромolibдена*) вводят в жидкую ванну, его угар составляет 4—6%. Антихлор обрабатывают наждачными кругами. Он стоек в соляной кислоте

различной концентрации при любой т-ре, а также в азотной кислоте всех концентраций, в лимонной, молочной, пикриновой, серной и фосфорной кислотах, в перекиси водорода, четыреххлористом углероде, железном купоросе, сернистом газе и др. Антихлор не применяют там, где окислительные кислоты (серная или слабая азотная) чередуются с соляной кислотой, а также в соляной кислоте или в хлористом водороде при наличии брома, паров плавиковой, сернистой и концентрированной кремнефтористоводородной кислот, в расплавленных щелочах. К. ч. используют в хим. машиностроении. Из него изготовляют *концентрационные колонны*, котлы, насосы, трубы, арматуру и др. изделия. Химический состав и марки антихлора и ферросилида приведены соответственно в ГОСТах 203—41 и 2233—70.

Лит.: Ващенко К. И. Химически стойкие отливки из высоколегированных железоуглеродистых сплавов. М., 1946; Язовских И. М., Леш В. А. Из опыта производства ферросилидного литья. «Литейное производство», 1960, № 7; Юналов И. Н. Отливки из химически стойких сплавов. М., 1964; Эмингер З., Вебер К. Производство отливок из специальных сталей. Пер. с чеш. М., 1960; Barton R. Special cast irons. «British Cast Iron Research Association journal», 1960, v. 8, № 6.

К. И. Ващенко.

КРЕМНИЯ СПЛАВЫ — сплавы на основе *кремния*. Первый такой сплав (ферросилиций) получен (1808) в Швеции. К. с. представляют собой в основном *твердые растворы* силицидов (см. *Силициды*) или *сплавы эвтектического типа* (см. *Эвтектика*) с добавками щелочных, щелочноземельных, переходных и редкоземельных металлов. Отличаются повышенной *коррозионной стойкостью*, хорошими литейными св-вами, мех. прочностью. Однако большое количество кремния обуславливает их *хрупкость*. К наиболее распространенным К. с. относятся ферросилиций, силикоалюминий, силикомарганец, силикокальций и ферросиликохром. Ферросилиций получают в электр. печах или (реже) в домнах, восстанавливая углеродом содержащиеся в рудах (*кварце*, *кварците*, *халцедоне*, квар-

цевом песке) окислы железа и кремния. Электропечной ферросилиций используют гл. обр. для раскисления (см. *Раскислители*) и легирования стали, доменный ферросилиций — для ее предварительного раскисления (см. также *Ферросилиций*). Сырьем для получения силосилоалюминия служат алиты, бедные бокситы с высоким содержанием двуокиси кремния, каолины, а также зола от сжигания бедных каменных углей и горючих сланцев.

Это сырье перерабатывают, восстанавливая углеродом окислы кремния и алюминия. Силосилоалюминий, используемый как раскислитель стали, отличается несколько лучшими свойствами по сравнению с ферросилицием и алюминием: образует легче всплывающие в шлак комплексные соединения двуокиси кремния с окисью алюминия, что уменьшает содержание неметаллических включений в стали. Его применяют в качестве восстановителя в металлотермических процессах производства металлов и сплавов, при термитной сварке, посыпают им головную часть

Таблица 1. Химический состав кремния сплава — силикомарганца

Марка сплава	Содержание элементов, %				
	Si	Mn, не менее	C	P	
				Группа А	Группа В
				не более	
СМ26	26	60	0,2	0,05	
СМ20	20,0—25,9	65	1,0	0,1	0,25
СМ17	17,0—19,9	65	1,7	0,1	0,35
СМ14	14,0—16,9	65	2,5	0,2	0,35
СМ10	10,0—13,9	65	3,5	0,35	0,35

Таблица 2. Химический состав кремния сплава — силикокальция

Марка сплава	Содержание элементов, %					
	Si	Ca	Fe	Al	C	
					Класс А	Класс В
					не более	
СК10	58—63	10—15	25	1,0	0,2	0,5
СК15	58—63	15—20	20	1,0	0,2	0,5
СК20	75—80	20—25	—	—	—	—
СК25	56—61	25—30	10	2,0	0,5	1,5
СК30	60	30	6	2,0	0,5	1,5

Таблица 3. Химический состав кремния сплава — ферросиликохрома

Марка сплава	Содержание элементов, %					
	Fe	Si	Cr	C	P	S
	не менее			не более		
ФСХ18	Основа	18,0	45,0	3,5	0,06	0,04
ФСХ30	»	30,0	40,0	1,0	0,05	0,04
ФСХ40	»	40,0	30,0	0,1	0,04	0,04

сплитков стали. Спикомаргра-
н с с (табл. 1) получают совместным
восстановлением кремния и марганца
из кварцита и марганцевых руд
(наиболее эффективный способ), вос-
становлением кремния из кварцита
с добавкой в шихту углеродистого
ферромарганца, а также сплавлением
ферросилиция с углеродистым фер-
ромарганцем. Он служит раскислите-
лем при произ-ве стали. Для полу-
чения с и л и к о к а л ь ц и я (табл.
2) прибегают к восстановлению дву-
окси кремния углеродом при нали-
чии карбида кальция в электр. пе-
чах шахтного типа или в совместном
восстановлению в таких же печах
окиси кальция и двуокси кремния
углеродом (второй способ позволяет
получать сплав в одну стадию, ми-
нуя произ-во карбида кальция; ших-
та в этом случае состоит из кварцита,
хорошо обожженной извести, кок-
сика и древесного угля). Силико-
кальций, представляющий собой
эффективный комплексный раскис-
литель, используют при произ-ве
некоторых высококачественных ста-
лей и сплавов, для *модифицирования*
чугуна и др. Ферросилико-
хром (табл. 3) получают либо
шлаковым способом — восстановле-
нием окислов хромовой руды и квар-
цита углеродом кокса, либо бесшла-
ковым — так же, как и ферросили-
ций (шихта состоит из кварцита, кок-
са и передельного феррохрома).
Применяют его как раскислитель и
легирующую добавку при выплав-
ке сталей и сплавов. К К. с. отно-
сятся также некоторые спеченные
алюминиевые сплавы, *силумины*. Хим.
состав силикомарганца регламенти-
рует ГОСТ 4756—70, силикокаль-
ция — ГОСТ 4762—71, ферросили-
кохрома — ГОСТ 11861—66.

Лит.: Бережной А. С. Кремний и
его бинарные системы. К., 1958; С а м с о н о -
в Г. В. Силициды и их использова-
ние в технике. К., 1959; Р и в л и н Ю. И.,
К о р о т к о в М. А., Ч е р н о б и л ь с -
к и й В. Н. Металлы и их заменители.
Справочник. М., 1973. Л. А. Дворина.

КРИОГЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (от
греч. κρύος — холод и γεννάω —
порождаю, создаю) — материалы,
используемые в технике искусствен-
но создаваемых низких температур
(ниже 120 К, или $-153,15^{\circ}\text{C}$) —
криогенной технике. К К. м. отно-
сятся материалы, физ. св-ва к-рых

позволяют применять их в качестве
рабочих веществ для получения кри-
огенных т-р, и конструкционные ма-
териалы, предназначенные для из-
готовления устройств криогенной
техники. Рабочими веществами слу-
жат чистые газы, их смеси и изотопы
с низкой т-рой кипения, твердые
растворы и сплавы с термоэлектрон-
ным эффектом Пельтье или гальвано-
термомагн. эффектом Эттингсгау-
зена, нек-рые сложные соли с эффек-
том парамагн. охлаждения и др.
вещества, способные изменять свою
т-ру под воздействием внешних фак-
торов (изменения объема, давления,
электр. или магн. поля и т. п.).
Наиболее распространены чистые
газы и смеси. В качестве конструк-
ционных К. м. применяют металлы
и сплавы, допускающие охлаждение
до криогенных т-р. При глубоком
охлаждении и термодиклировании их
мех. свойства могут существенно из-
меняться (в зависимости от типа кри-
сталлической решетки, хим. состава,
условий получения, обработки и
т. д.). Для углеродистых и низколеги-
рованных сталей характерна повы-
шенная *хрупкость* при охлаждении
ниже т-р $200 \div 220 \text{ K}$, поэтому наи-
большее применение при криоген-
ных т-рах находят аустенитные ле-
гированные стали с гранецентриро-
ванной кубической структурой кри-
сталлов, содержащие более $10 \div$
 $\div 12\%$ Ni. В сталях с содержанием
более 20% Ni *мартенситные превра-
щения* не наблюдаются до т-ры $4,2 \text{ K}$.
Стали, содержащие большое ко-
личество никеля, а также *никеля*
сплавы и *меди сплавы* обладают хо-
рошими мех. св-вами при криоген-
ных т-рах, однако из-за высокой стои-
мости они не нашли широкого рас-
пространения. В криогенной техни-
ке применяют *алюминия сплавы* с
добавкой магния ($5 \div 6\%$) или мар-
ганца ($0,5 \div 1,5\%$), обладающие до-
статочной *ударной вязкостью* при
криогенных т-рах и допускающие
сварку дугой в инертном газе, а так-
же *пайку* в соляной ванне. Важными
техническими характеристиками
конструкционных К. м. являются
коэфф. *термического расширения*
(сжатия) и его изменение с т-рой.

У большинства сплавов осн. деформирование происходит до т-ры $70 \div 80$ К, при дальнейшем охлаждении термическое сжатие незначительно. Определенное применение при криогенных т-рах находят неметаллические композиции (напр., *керамические материалы, стекло*). Керамические материалы представляют собой хим. соединения с сильными первичными ионными или ковалентными связями, делающими их тугоплавкими и прочными. Стекло относится к тому же типу материалов, для к-рых пластическая деформация практически невозможна. Нек-рые стекла спец. сортов характеризуются низким термическим сжатием при криогенных т-рах и могут выдерживать тепловые удары. Стекла используют гл. обр. в виде *стеклянных волокон* для армирования полимеров, чем обеспечивается высокая *прочность*, низкая *теплопроводность*, облегченность конструкций, однако пористость композиций ограничивает их применение. Армирование снижает высокий коэфф. термического сжатия полимеров и повышает упругость, незначительно влияя на вязкость. У металлов высокой чистоты низкое тепловое сопротивление в широком интервале т-р, а технические металлы и сплавы из-за большого количества примесей обнаруживают рост теплового сопротивления при криогенных т-рах. Миним. теплопроводность при т-ре от 77 до $4,2$ К обладают *нержавеющие стали, нейзильбер*, очень высокой — особо чистая медь. Наличие примесей резко снижает теплопроводность. Аморфные неметаллические материалы характеризуются высоким тепловым сопротивлением в отличие от монокристаллов (*алмаза, сапфира, кварца, кремния* и др.), теплопроводность к-рых в области т-р $5 \div 20$ К достигает уровня чистых металлов. Для большинства К. м. характерно резкое снижение *теплоемкости* при охлаждении ниже т-ры 100 К, в отличие от обычных условий, при к-рых теплоемкость неметаллов значительно выше, чем металлов. В криогенной электро-

технике важными являются высокая электропроводность проводников и диэлектрические св-ва *электроизоляционных материалов*. У технических чистых *металлов* электропроводность максимальна при т-ре ниже $15 \div 80$ К, причем чистый алюминий технологически проще получить, чем медь такой же степени чистоты, что обеспечивает более широкое применение алюминия при т-ре $15 \div 20$ К. Сплавы, как материалы, содержащие значительное количество примесей, характеризуются низкой электропроводностью и слабой ее температурной зависимостью. Дополнительно ограничивают рост электропроводности «размерный» эффект, проявляющийся в чистых металлах при толщине проводников, меньше длины свободного пробега электронов, а также влияние сильных магн. полей (особенно для меди и бериллия). В переменных электромагн. полях снижение сопротивления при криогенной т-ре ограничивается «аномальным скин-эффектом». Особое место среди К. м. занимают *сверхпроводящие материалы*. Высокие диэлектр. свойства керамических материалов при криогенных т-рах позволяют использовать их в качестве эффективных электр. изоляторов. Свойства и хим. состав некоторых К. м. приведены в ГОСТах 9293—59, 10157—62, 3022—70, 5583—68, 6331—68.

Лит.: Справочник по физико-техническим основам криогеники. М., 1973; Фастовский В. Г., Петровский Ю. В., Ровинский А. Е. Криогенная техника. М., 1974; Вигли Д. А. Механические свойства материалов при низких температурах. Пер. с англ. М., 1974.

КРИОЛИТ (от греч. κρύος — холод, лед и λίθος — камень), $\text{Na}_2[\text{NaAlF}_6]$ — минерал класса *фторидов*. Синоним: *ледяной шпат*. Хим. состав (%): Al — 12,8; Na — 32,8; F — 54,4. Структура островная, сингония моноклиная, вид симметрии призматический. Высокотемпературная модификация бета-криолита (т-ра выше 550°C) — кубическая. Распространен в природе в виде зернистых и фарфоровидных выделений, отдельных зерен и кристаллов. Кристаллы короткопризматические, псевдокубические с преобладающим развитием граней пинакоидов {001}, {100} и призм {110}; редко встречаются кристаллы, упло-

печные по {001}. На гранях {110} передка параллельная ребрам штриховка. Очень распространены двойники. Зернистый К. всегда полисинтетически сдвойникован. Спайность отсутствует (см. *Спайность минералов*). На крупных кристаллах и зернах наблюдается отдельность, вызванная тонкими двойниковыми пластинками. *Плотность* 2,95—3,01 г/см³. *Твердость* 2—3. Хрупкий. Бесцветный до белого, желтовато-серый, а также кирпично-красный, коричневым (см. *Цвет минералов*). Черта белая, у темноокрашенного — желтоватая. Блеск стеклянный до жирного, по плоскостям отдельности перламутровый (см. *Блеск минералов*). Прозрачен до просвечивания в массе, темноокрашенный просвечивает только в тонких осколках. Излом неровный до раковистого (см. *Излом минералов*). В проходящем свете бесцветный, темноокрашенный — желтоватый. Двухосный, положительный; $2V = 43^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,339$; $n_m = 1,338$; $n_p = 1,338$; $n_g - n_p = 0,001$. Дисперсия слабая, $r < v$. Криолитовая минерализация приурочена к щелочным гравитоидам и связанными с ними пегматитам и метасоматитам. В пром. масштабе получают взаимодействием сульфатов алюминия и фтористого натрия, нейтрализацией кислых фтористых газов (H_2SiF_6) гидроокисями алюминия и натрия,

Характеристики криптолов

Материал	Размер зерна, мм	Удельное электросопротивление, ом · см	
		20° С	1500° С
Крупка электродная	1,5	25,0	—
	2,5	15,0	2,8
	4,0	10,0	2,5
	6,0	3,5	1,2
Кокс литейный	6,0	6,0	1,4
	10,0	3,2	2,0
Кокс нефтяной	2,0	15,0	7,0
	10,0	3,3	2,0
Кокс графитизированный	2,0	3,0	1,0
	6,0	0,7	0,35
Графит чешуйчатый	0,15	1,0	0,02

обработкой раствором фтористого натрия гидроокиси алюминия, алюмината натрия, фтористого алюминия. К. применяют в металлургии алюминия, для получения эмалей, молочного стекла (см. *Глаушеное стекло*), как наполнитель резины и бумаги. Эффективный инсектицид. *Лит.:* Минералы. Справочник, т. 2, в. 1. М., 1963; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дэна Дж. Д. (и др.) Система минералогии, т. 2, полутом 1. Пер. с англ. М., 1953.

Н. Н. Разумеева.

КРИТОЛ (от греч. κρυπτός — скрытый) — зернистый углеродистый материал. Используется в качестве нагревательного элемента печей сопротивления (криптоловых печей). Размер его зерен 0,15—10 мм (табл.). Получают К. дроблением угольных или графитовых электродов с плотной однородной структурой. Характеризуется высоким удельным электрическим сопротивлением, зависящим от т-ры и плотности засыпки. При попадании в засыпку воздуха и обгорании зерен электросопротивление К. резко возрастает. Если плотность засыпки неравномерна, некоторые участки печи перегреваются, что часто приводит к оплавлению футеровки. Для предотвращения обгорания зону засыпки герметизируют. В процессе эксплуатации печи размеры зерен К. уменьшаются, в нем накапливаются пыль и зола, в связи с чем его периодически просеивают. Содержание золы в К. не должно превышать 1—3%. Не допускаются металлические примеси, расплав которых разрушает футеровку печи.

Лит.: Овчаров В. И. Криптоловая печь и ее эксплуатация при максимальных температурах. М., 1954; Огнеупорное производство. Справочник, т. 2. М., 1965.

О. Н. Попов.

КРИПТОН (Kryptonum; от греч. κρυπτός — скрытый), Kr — хим. элемент VIII группы периодической системы элементов; ат. н. 36, ат. м. 83,80. Инертный газ. Атмосферный К. состоит из смеси шести стабильных изотопов, среди к-рых преобладает изотоп ⁸⁴Kr (56,90%). Получены 15 радиоактивных изотопов. К. открыли (1898) англ. ученые У. Рамзай и М. Траверс при спектроскопи-

ческом изучении труднолетучих фракций жидкого воздуха. К. — редкий, рассеянный газ, встречается гл. обр. в атмосфере ($3 \cdot 10^{-4}\%$). Осн. термодинамические параметры — критическая точка: $T_{кр} = 209,35$ К; $P_{кр} = 54,3$ атм; $\rho_{кр} = 0,908$ г/см³; тройная точка: $T_{тр} = 115,78$ К; $P_{тр} = 548,7$ мм рт. ст., $\rho_{тр} = 2,826$ г/см³. Нормальная т-ра кипения 119,80 К (при атм. давлении); т-ра плавления 116,55 К; теплота плавления 390,7 кал/моль; теплота испарения (в точке кипения) 2258 кал/моль; теплота сублимации (т-ра 0 К) 2666 кал/моль. Газообразный К. — без цвета и запаха, состоит из одноатомных молекул. При т-ре 0° С и давлении 760 мм рт. ст. его плотность 3,7493 кг/м³; коэфф. теплопроводности $2,08 \times 10^{-5}$ кал/см · сек · град; растворимость в воде: 99,1 см³/л (т-ра 0° С) и 28,5 см³/л (т-ра 80° С). В жидком состоянии плотность 2,413 г/см³; коэфф. теплопроводности $21,3 \times 10^{-5}$ кал/см · сек · град. Количество газа, образующегося при испарении 1 л жидкости, — 643,6 л. Решетка твердого К. — гранецентрированная кубическая с периодом (т-ра 4,2 К) $a = 5,646$ Å. Теплофизические св-ва твердого К. исследовались гл. обр. по кривой равновесия кристалл — пар. В интервале т-р 114—12 К плотность его изменяется от 2,799 до 3,092 г/см³; теплоемкость c_p уменьшается с 5,14 до 1,98 кал/моль · град, c_p — с 8,47 до 1,99 кал/моль · град, температура Дебая 71,7 К; температурный коэфф. объемного расширения в этом же интервале т-р изменяется от $18,51 \times 10^{-4}$ до $2,56 \cdot 10^{-4}$ град⁻¹. Коэфф. теплопроводности в интервале т-р 100—25 К увеличивается с $0,5 \times 10^{-3}$ до $3,59 \cdot 10^{-3}$ кал/см · град × сек. Макс. прочность твердого К. на разрыв (т-ра 70 К) 400 гс/мм²; твердость (т-ра 30К) 250 гс/мм². К. способен вступать в реакции, известны фториды K₂F₂ и K₂F₄, полученные при электр. разряде и устойчивые

только при пониженной т-ре. Подобно др. инертным газам К. образует соединения, связь в к-рых осуществляется межмолекулярными силами (напр., K₂ · 6H₂O). К. обычно получают как побочный продукт при разделении воздуха методом глубокого охлаждения. Применяют гл. обр. в электровакуумной технике. Криптоновые лампы накаливания служат дольше обычных, поскольку тяжелые атомы К. затрудняют испарение вольфрамовой нити.

Лит.: Крупский И. Н., Манжель В. Г. Многофазные взаимодействия и теплопроводность кристаллических аргона, криптона и ксенона. «Журнал экспериментальной и теоретической физики», 1968, т. 55, в. 6; Леонтьева А. В., Строилов Ю. С., Болышевский Д. Н. Пластическая деформация отвердевшего криптона. «Физика конденсированного состояния», 1971, в. 16; Фастовский В. Г., Ровинский А. Е., Петровский Ю. В. Инертные газы. М., 1972; Pollack G. L. The solid state of rare gases. «Reviews of modern physics», 1964, t. 36, № 3.

А. В. Леонтьева.

КРИСТАЛЛ (греч. κρυσταλλος — горный хрусталь) — твердое тело со строго закономерным расположением атомов, ионов или молекул, образующих кристаллическую решетку. Отличается однородностью, анизотропией св-в и способностью при благоприятных условиях приобретать форму многогранников определенного типа. Элементы ограничения К. — грани, ребра и вершины, к-рые связаны между собой зависимостью: сумма граней + сумма вершин равна сумме ребер + два. Грани в кристаллической решетке соответствуют ее плоские сетки, ребрам — ряды, вершинам — отдельные узлы. У каждого кристаллического вещества — своеобразное расположение слагающих его материальных частиц, своя кристаллическая структура, поэтому величина углов между соответствующими гранями у К. одного и того же вещества — величина постоянная (закон постоянства углов). К. — симметричные тела. Симметрия кристаллических многогранников, как конечных фигур, описывается элементами симметрии — центром инверсии ($\bar{1}$), плоскостями симметрии (m), поворотными (2, 3, 4 и 6) и инверсионными ($\bar{4}$ и $\bar{6}$) осями симметрии, сочетание к-рых обуславливается

предельными — закономерностями. Кроме этих элементов, в кристаллической решетке, как в бесконечной фигуре, есть более сложные элементы — трансляции, плоскости скользящего отражения и винтовые оси симметрии. Полная совокупность элементов симметрии кристаллического многогранника наз. его видом симметрии. Известны 32 вида симметрии, к-рые подразделяют на семь сингоний: триклинную, моноклинную, ромбическую, тригональную, тетрагональную, гексагональную и кубическую. Кроме того, по характеру слагающих элементов различают виды симметрии примитивные, центральные, планальные, аксиальные, планаксиальные, инверсионно-примитивные и инверсионно-планальные (табл.). Каждый К. принадлежит к одному из видов симметрии. Всех мыслимых сочетаний элементов симметрии кристаллических решеток — 230, это т. н. пространственные (федоровские) группы, каждая из к-рых является подгруппой соответствующего вида симметрии и представляет собой один из 230 возможных законов расположения материальных частиц в кристаллическом пространстве. Миним. параллелепипед, к-рый сохраняет все особенности макрокристалла, наз. его элементарной ячейкой. Форма элементарной ячейки определяется отношениями величин ребер (трех осн. трансляций) $a : b : c$ и величинами углов α (между b и c), β (между a и c) и γ (между a

и b), называемых кристаллографическими константами. Константы характеризуются общими значениями для каждой из сингоний: триклинная — $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$, $a \neq b \neq c$; моноклиная — $\alpha = \gamma = 90^\circ$, $\beta \neq 90^\circ$, $a \neq b \neq c$; ромбическая — $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $a \neq b \neq c$; тригональная — $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$, $a = b = c$; тетрагональная — $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $a = b \neq c$; гексагональная — $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$, $a = b \neq c$; кубическая — $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $a = b = c$. Абс. значения параметров кристаллической решетки a , b и c и величины углов α , β и γ определяются рентгеноструктурным анализом. К. ограничен простыми форм., представляющих собой совокупность идентичных плоскостей (параллельных соответствующим плоским сеткам кристаллической решетки, к-рые обладают одинаковым строением и, следовательно, одинаковыми физ. св-вами), связанных между собой элементами симметрии. Всего известно 47 простых форм: из них 7 встречаются лишь в низшей категории сингоний, 25 — в средней категории и 15 — только в кубической сингонии (рис. с. 656). Соответствующие простые формы на реальных К. обычно образуют между собой комбинации. Пространственное расположение граней К. описывают относи-

Виды симметрии кристаллов

Категория сингоний	Сингония	Вид симметрии						
		примитивный	центральный	планальный	аксальный	планаксальный	инверсионно-примитивный	инверсионно-планальный
Низшая	Триклинная	1	$\bar{1}$	—	—	—	—	—
	Моноклиная	—	—	m	2	$2/m$	—	—
	Ромбическая	—	—	mm	222	mmm	—	—
Средняя	Тригональная	3	$\bar{3}$	$3m$	32	$\bar{3}m$	—	—
	Тетрагональная	4	$4/m$	$4mm$	422	$4/mmm$	$\bar{4}$	$\bar{4}2m$
	Гексагональная	6	$6/m$	$6mm$	622	$6/mmm$	$\bar{6}$	$\bar{6}2m$
Высшая	Кубическая	23	$m\bar{3}$	$\bar{4}3m$	432	$m\bar{3}m$	—	—

тельно определенной системы координат — кристаллографических осей X , Y , Z и т. н. единичной грани, отсекаемые отрезки k -рой на этих осях являются масштабными (единичными). Символ грани hkl выражается тремя целыми цифрами (обычно от нуля до 10), получаемыми

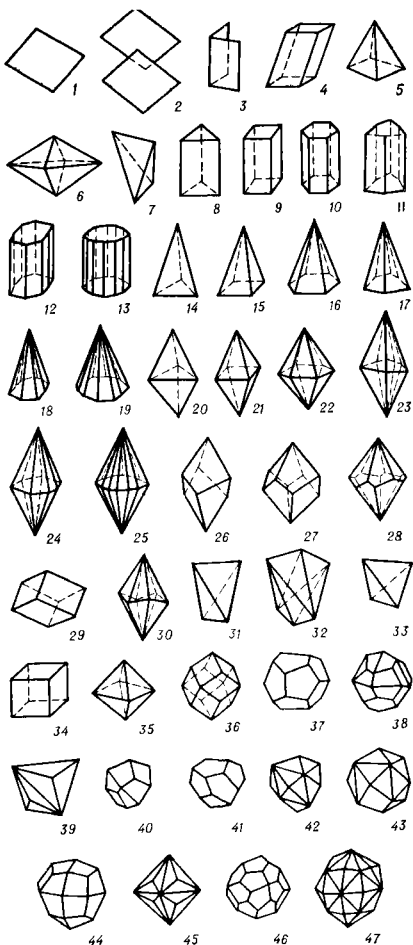
из отношения $h : k : l = \frac{a}{ma} ;$

$\frac{b}{nb} : \frac{c}{pc}$, где a , b и c — единич-

ные отрезки, отсекаемые единичной гранью соответственно на осях X , Y , Z ; ma , nb и pc — отрезки, кратные единичным отрезкам a , b и c , к-рые заданная грань отсекает на тех же осях. Символы граней K . вычисляются на основании результатов измерения углов между гранями или же их сферических координат на спец. приборах — гониометрах. В основе учения о символах граней лежит закон рациональных отношений параметров (закон Гаюи). Кроме символов граней, различают и символы ребер кристалла. Совокупность граней, пересекающихся по параллельным ребрам, образует зону, или пояс граней; каждая грань располагается по крайней мере в двух поясах (закон Вейса).

Простые формы кристаллов. Низшая категория сингоний: 1 — моноэдр; 2 — пиналоид; 3 — диэдр; 4 — ромбическая призма; 5 — ромбическая пирамида; 6 — ромбическая дипирамида; 7 — ромбический тетраэдр. Средняя категория сингоний, призмы: 8 — тригональная; 9 — тетрагональная; 10 — гексагональная; 11 — дитригональная; 12 — дитетрагональная; 13 — дигексагональная; пирамиды: 14 — тригональная; 15 — тетрагональная; 16 — гексагональная; 17 — дитригональная; 18 — дитетрагональная; 19 — дигексагональная; дипирамиды: 20 — тригональная; 21 — тетрагональная; 22 — гексагональная; 23 — дитригональная; 24 — дитетрагональная; 25 — дигексагональная; трапецоэдры: 26 — тригональный; 27 — тетрагональный; 28 — гексагональный; 29 — ромбоэдр; 30 — тригональный скаленоэдр; 31 — тетрагональный тетраэдр; 32 — тетрагональный скаленоэдр. Кубическая сингония: 33 — кубический тетраэдр; 34 — гексаэдр; 35 — октаэдр; 36 — ромбододекаэдр; 37 — пентагон-дододекаэдр; 38 — дидододекаэдр; 39 — тригон-тригетраэдр; 40 — тетрагон-тригетраэдр; 41 — пентагон-тригетраэдр; 42 — гексатетраэдр; 43 — тетрагексаэдр; 44 — тетрагон-триоктаэдр; 45 — тригон-триоктаэдр; 46 — пентагон-триоктаэдр; 47 — гексоктаэдр.

Физические св-ва K . зависят от хим. состава, сил и типа действующей между материальными частицами хим. связи, от характера структуры. Так, спайность K ., т. е. его способность раскалываться по направлениям, параллельным определенным граням, обусловлена слабыми силами связи, возникающими между соответствующими плоскими сетками кристаллической решетки, к-рые, как правило, одновременно наиболее удалены друг от друга. Твердость различных граней K . зависит от ретикулярной плотности (количества материальных частиц, приходящихся на единицу площади соответствующих плоских сеток ре-



плетки) и действующих сил связи. Все К. ацентрических видов симметрии (кроме вида 432) обладают пьезоэлектрическими св-вами. Индивиды триклинной, моноклинной и ромбической сингоний оптически двухосны, а тригональной, тетрагональной и гексагональной — одноосны. Значительное влияние на св-ва К. оказывает координационное число — ближайшее число атомов или ионов противоположного знака, окружающих данный атом или ион. В зависимости от преобладающих сил хим. связи, действующих в кристаллической решетке, различают К. ионные, атомные, молекулярные и металлические. Структура К. в значительной мере зависит от термодинамических условий *кристаллизации*. Очень часто одно и то же вещество может образовывать различного типа структуры, обуславливающие их физ. св-ва (см. *Полиморфизм*). Так, углерод известен в двух полиморфных модификациях — *алмаза* и *графита*, карбонат кальция — в виде тригонального кальцита и ромбического арагонита. Реальные К. дефектны (см. *Дефекты в кристаллах*). К. образуются из газовой фазы, расплавов, пересыщенных растворов, а также вследствие распада *твердых растворов* и полиморфных превращений. К наиболее распространенным методам технического выращивания кристаллов относятся методы транспортных реакций, Бриджмена, Чохральского, Киропулоса, планетарный метод и др. Природные и искусственные К. используют в оптических приборах (линзах, призмах), лазерных устройствах, *дефектоскопии*, полупроводниковой технике (в различного рода датчиках), радиоэлектронике (напр., пьезоэлементах), а также для получения *сверхтвердых материалов*.

Лит.: Шубников А. В., Парвов В. Ф. Зарождение и рост кристаллов. М., 1969; Вокий Г. Б. Кристаллохимия. М., 1971; Попов Г. М., Шафрановский И. И. Кристаллография. М., 1972; Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. Основы кристаллофизики. М., 1975.
З. В. Вартошинский, О. И. Матковский.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ — образование кристаллов при переходе вещества из термодинамически неустой-

чивого состояния (жидкого, твердого, газообразного) в устойчивое. К. начали изучать в 18 в. К. происходит в процессе переохлаждения жидкости ниже равновесной т-ры (т. е. т-ры, при к-рой твердая и жидкая фазы находятся в равновесии) и сопровождается выделением скрытой теплоты. Различают две стадии К. — зарождение центров (зародышей) и рост кристаллов. С возрастанием переохлаждения (пересыщения), равном разности между равновесной т-рой и т-рой, при к-рой происходит К., скорость зарождения центров и скорость роста их увеличиваются, достигая максимума, а затем падают (рис. 1 с. 658). Скорость роста центров становится заметной при переохлаждении в десятки доли градуса, тогда как для их зарождения требуются большие, т. н. «пороговые» переохлаждения, составляющие десятки и сотни градусов, величина к-рых зависит от вида вещества и содержащихся в нем примесей. Соотношением этих параметров определяются скорость процесса и зернистая структура его конечного продукта. Интенсивность К. пропорциональна скоростям зарождения центров и их роста, а размер зерна уменьшается с увеличением скорости зарождения центров и уменьшением скорости их роста. **З а р о ж д е н и е ц е н т р о в** (з а р о д ы ш е й). Образование центров в переохлажденной жидкости стимулируется разностью хим. потенциалов между жидкой и твердой фазами, к-рая при т-ре плавления равна нулю и увеличивается с повышением переохлаждения. Зарождение центров происходит самопроизвольно (гомогенно) или на инородных твердых частицах, стенках сосуда и др. (гетерогенно). Гомогенное зарождение центров осуществляется вследствие образования гетерофазных флуктуаций — скоплений молекул (атомов), расположением к-рых сходно с расположением в кристаллах. С возникновением кристаллика происходит объемное изменение (уменьшение) свободной (выигрышной) энергии, связанной с переходом в более

устойчивое состояние, и затрачивается энергия на образование поверхности раздела (проигрышная). Если размер кристаллика меньше некоторого критического, свободная энергия возрастает, поскольку увеличен *поверхностной энергии* превышает выигрыш в объемной энергии, и энергетически более выгодно расплавление кристаллика. Если же размер кристаллика выше критического, он будет расти. Чем выше переохлаждение, тем меньше размер критического зародыша и больше вероятность его возникновения. Зародыши критического размера и более могут стать центрами независимо от того, возникли ли они гомогенно или гетерогенно. Вероятность зарождения центров тем больше, чем меньше работа образования критического зародыша

$$A_0 = \frac{RB\sigma^3}{(\Delta T)^2},$$

где A_0 — работа образования критического зародыша; R — газовая постоянная; B — величина, зависящая от формы зародыша и физ. констант вещества; σ — поверхностное натяжение на границе раздела кристалл — расплав; ΔT — переохлаждение. Скорость процесса может лимитироваться также подвижностью молекул (атомов), характеризующейся величиной энергии активации перехода их от жидкости к зародышу. Скорость образования центров (т. е. количество центров, возникающих в единице объема за единицу времени)

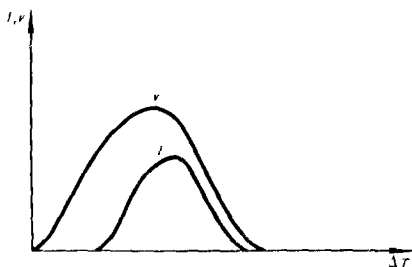
$$I = K_0 e^{-U/RT} \cdot e^{-B\sigma^3 T (\Delta T)^2},$$

где I — скорость зарождения центров; K_0 — кинетический коэфф. ($\sim 10^{35}$); e — экспонента; U — энергия активации перехода атомов (молекул) из жидкой в твердую фазу; T — абсолютная т-ра; σ — поверхностное натяжение. Графически эта зависимость изображается характерной кривой (рис. 1), к-рой может быть дано следующее физическое объяснение. При повышенных т-рах, когда подвижность атомов велика, осн. роль играет термодинамиче-

ский фактор (второй экспоненциальный множитель). Это проявляется в том, что после достижения критического переохлаждения (границы метастабильности) скорость зарождения центров резко возрастает с повышением переохлаждения. При дальнейшем понижении т-ры подвижность молекул снижается вследствие увеличения вязкости (действие первого экспоненциального множителя), и в результате скорость зарождения центров снижается; при очень больших переохлаждениях она может упасть до нуля, что соответствует переходу в стеклообразное состояние. Соотношение стимулирующих и тормозящих факторов зависит от природы вещества. Вещества, обладающие большой вязкостью, а следовательно, малой подвижностью молекул (салол, глицерин и др.), самопроизвольно не кристаллизуются и переходят в стеклообразное состояние. Металлы, имеющие малые значения U/RT , не удается перевести в стеклообразное состояние даже при больших скоростях охлаждения, и для них наблюдается лишь восходящая часть кривой (см. рис. 1).

Наличие в расплаве твердых частиц (подложки), особенно «изоморфных», т. е. обладающих кристаллохимическим соответствием с кристаллизующимся веществом, облегчает К., и центры возникают при значительно меньших переохлаждениях, чем в объеме. Работа образования критического зародыша на них A_0 уменьшается и зависит от равновесной формы зародыша. Так, если зародыш имеет форму параллелепипеда высо-

Рис. 1. Зависимость скорости зарождения центров кристаллизации (I) и скорости их роста (v) от переохлаждения.



той h и длиной $2l$, ограниченной плоскостями куба, то

$$A_{\text{п}} = A_0 \frac{h}{l},$$

где $A_{\text{п}}$ — работа образования критического зародыша на подложке;

$$\frac{h}{l} = \frac{\sigma_{\text{з.п}} - \sigma_{\text{ж.п}}}{\sigma_{\text{з.ж}}} + 1$$

(здесь $\sigma_{\text{з.п}}$ — поверхностное натяжение между зародышем и подложкой; $\sigma_{\text{ж.п}}$ — поверхностное натяжение между жидкостью и подложкой; $\sigma_{\text{з.ж}}$ — поверхностное натяжение между зародышем и жидкостью). Работа образования критического зародыша на подложке уменьшается по сравнению с объемной работой тем больше, чем меньше *поверхностное натяжение* между зародышем и подложкой и чем больше оно между жидкостью и подложкой. Поверхностное натяжение между зародышем и подложкой тем меньше, чем ближе родство хим. связей и меньше различие параметров решеток сопрягающихся плоскостей зародыша и подложки. Поэтому твердые поверхности, обладающие большим кристаллохимическим родством, будут в большей степени уменьшать работу образования критического зародыша и снижать переохлаждение жидкости. Так, центры из расплава металлоподобного вещества — гидрохинона, переохлаждающегося на $36-37^\circ\text{C}$, возникают на монокристалле кальцита при значительно меньших переохлаждениях (4°C), чем на поверхности сидерита (FeCO_3) (18°C), параметры к-рого по сравнению с кальцитом в плоскости $(10\bar{1}1)$ больше отличаются от параметров гидрохинона. На К. металлов подобное влияние оказывают окислы, карбиды, нитриды. Отли-

чительной особенностью К. на таких поверхностях является флуктуационный характер зарождения центров, ориентированное их расположение, наличие резкой и устойчивой границы метастабильности, не зависящей от величины перегрева жидкости. Кроме такой естественной активности, твердые поверхности способны приобретать дополнительную (наведенную) активность после пребывания их в молекулярном контакте с кристаллами данного вещества. В результате центры могут возникать при очень малых переохлаждениях ($\sim 1^\circ\text{C}$). Однако наведенная активность менее устойчива, чем естественная. Она легко устраняется после небольших перегревов ($\sim 50^\circ\text{C}$), в то время как естественная активность сохраняется при перегревах на сотни градусов. Наличие даже ничтожного количества нерастворимых примесей приводит к коренному изменению кинетики К., поэтому для гомогенного зародышеобразования их полностью удаляют из расплава. Это достигается, напр., разбиванием массы жидкости на маленькие капли, часть из которых может быть лишена твердых частиц.

С помощью этого метода для железа, кобальта, никеля и др. металлов получены предельные переохлаждения ($\sim 0,3 T_{\text{пл}}$). Св-во твердых частиц облегчать зарождение центров и смещать переохлаждение в область высоких T -р, где скорость роста уменьшается, используют в промышленности для получения мелкозернистой структуры материала. Рост кристаллов. Возникший кристалл продолжает расти при малом переохлаждении, приобретая свою естественную для данного вещества равновесную форму многогранника (рис. 2). В процессе медленного роста эта форма сохраняется. Кристаллы некоторых веществ при К. из расплава не имеют видимой границы и растут округло. При увеличении переохлаждения или введении примесей скорость роста разных граней может изменяться — одни грани будут продолжать расти, а другие могут выклиниваться. Рост

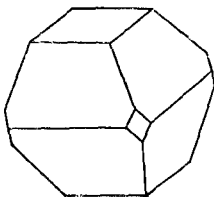


Рис. 2. Форма кристалла галлия, растущего из расплава (увеличение: 2 см — 500 мкм).

граней происходит послойно, последовательным наращиванием слоев. Ступенька, возникшая у углов или ребер кристалла, перемещается вдоль грани со скоростями, в сотни раз превышающими скорость перемещения грани в перпендикулярном к ней направлении. Присоединение атомов к ступеньке происходит с меньшими энергетическими затратами, чем присоединение их к гладким участкам грани. Сама ступенька на атомно-гладкой поверхности может появиться в результате флуктуационного возникновения критического двухмерного зародыша, на

что затрачивается работа $W = \frac{D\chi}{\Delta T}$,

где D — постоянная величина; χ — периферийная энергия. Поскольку тангенциальная скорость распространения ступеньки очень велика, то норм. скорость роста грани определяется в основном частотой образования зародышей, увеличивающейся с переохлаждением:

$$v = ce^{-U/RT} \cdot e^{\frac{-D\chi}{T\Delta T}},$$

где c — постоянная.

Для полной реализации такого механизма требуется преодоление небольшого порогового переохлаждения, ниже которого скорость роста ничтожно мала. Как показали эксперименты на салоле и галлии, величина таких пороговых переохлаждений при росте из расплава составляет 0,5—1,5°С, а при К. из раствора пороговые пересыщения достигают 50—100%. В процессе роста кристалл может содержать винтовые дислокации. Выход такой дислокации на поверхность грани характеризуется наличием спиралевидной ступеньки, закрученной вокруг оси дислокации. Из-за геометрических св-ва такая ступенька не может зарастать (и нет необходимости в образовании двухмерных зародышей), а увеличение кристалла происходит присоединением атомов к ее торцу. Рост кристалла с винтовой дислокацией характеризуется параболической кинетикой $v = c_1 \Delta T^2$ (где c_1 — постоянная) и происходит

при незначительных переохлаждениях. Для типичных металлов и др. веществ, обладающих малой энтропией плавления ($q/T_{пл} < 4$, где q — теплота К.), граница раздела является атомно-шероховатой, т. е. содержит большую плотность входящих углов, изломов, и присоединение атомов к ним происходит без преодоления потенциальных барьеров. Рост таких граней лимитируется в основном интенсивностью отвода теплоты К. (для растворов — доставкой вещества) и характеризуется линейной кинетикой $v = c_2 \Delta T$ (где c_2 — постоянная). Для таких веществ почти все кристаллографические плоскости шероховаты, анизотропия в скорости роста очень мала, поэтому кристаллы имеют округлую равновесную форму. Гладкая поверхность раздела округлых кристаллов сохраняется лишь при малых скоростях роста. При больших же переохлаждениях и, следовательно, больших скоростях роста кристаллы приобретают форму дендритов, скелетов, сферолитов и др. несовершенные формы. Неравновесные формы могут изменяться в зависимости от величины переохлаждения. Так, на кристаллах циклогексанола по мере повышения переохлаждения распада сначала появляются выступы, к-рые растут и развиваются в дендриты, а при больших переохлаждениях вырождаются в игольчатую форму. Аналогичные изменения наблюдаются для железа и никеля. Поэтому более совершенные монокристаллы получают при малых скоростях роста и переохлаждениях, при к-рых вероятность образования «паразитных» кристаллов очень мала. В процессе электрокристаллизации обнаруживаются слоистый и спиральный рост, гранные и дендритные формы роста, пластинчатые и игольчатые кристаллы. Электрокристаллизацию применяют для изучения кинетики К. и получения мн. металлов. Возникающие при К. дефекты имеют вид пор, твердых включений, скоплений примесей, вакансий, дислокаций, внутренних напряжений, границ и субграниц, усадочных раковин и др. Происхождение дефектов самое различное, а вероятность их образования, как правило,

растет с увеличением скорости роста и степени загрязнения материала. Так, при выращивании металлических монокристаллов из расплава происходит накопление примеси перед фронтом К., к-рое способствует образованию на нем выступов (ячеек); дальнейшее перемещение ячеистого фронта сопровождается микросегрегацией примесей, что приводит к образованию т. н. линейчатой (каравдашной) субструктуры. В местах микросегрегации такой структуры создаются напряжения, к-рые могут вызывать образование дислокаций. Образование дислокаций вызывают и твердые частицы, вросшие в кристалл из расплава, температурные градиенты, термические напряжения, развивающиеся в процессе охлаждения кристалла, и др. Дислокации могут перемещаться и перестраиваться, образуя сетки, сильно ориентированные субграницы. Плотность и характер распределения дислокаций зависят от условий выращивания, концентрации и типа примесей. Дислокационная и др. типы субструктур в монокристаллах оказывают влияние на структурно-чувствительные св-ва материала. При малых скоростях роста получают крупные бездислокационные монокристаллы германия, кремния и др. применяющихся в технике полупроводников.

Лит.: Данилов В. И. Строение и кристаллизация жидкости. К., 1956; Чернов А. А. Слоисто-спиральный рост кристаллов. «Успехи физических наук», 1961, т. 73, в. 2; Рост и несовершенства металлических кристаллов. К., 1966; Рост кристаллов, т. 1—10. М., 1957—74; Холмон Д. Н., Тарбалл Д. Образование зародышей при фазовых превращениях. В кн.: Успехи физики металлов, сб. 1. Пер. с англ. М., 1956; Проблемы роста кристаллов. Пер. с англ. М., 1968; Лодиз Р., Паркер Р. Рост монокристаллов. Пер. с англ. М., 1974.

Д. Е. Овсиенко.

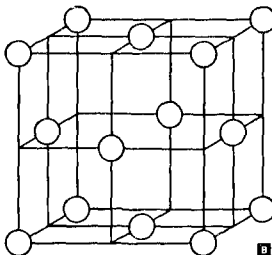
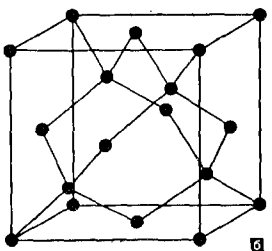
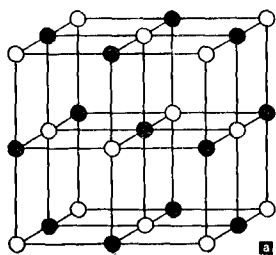
КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА — структура, в к-рой атомы вещества распределены периодически в трех измерениях, образуя кристаллическую решетку. В зависимости от типа хим. связи в неорганических материалах различают К. с. ионную, атомную и металлическую. Кроме того, возможны промежуточные структуры (*внедрения фазы, Лавеса фазы, сигма-фазы* и электронные соединения), в к-рых может быть не-

сколько типов связи. Ионная структура наблюдается в хлористых натриевых (или калиевых) солях (рис., а с.662) и др. щелочногалоидных соединениях, в к-рых положительные ионы натрия (или калия) образуют гранецентрированную кубическую решетку. Такую же решетку образуют и отрицательные ионы хлора, в результате чего элементарная ячейка ионной структуры состоит из двух вставленных друг в друга гранецентрированных кубических решеток анионов и катионов. Ионную связь кристалла обуславливает электростатическое притяжение между положительно и отрицательно заряженными ионами. Атомная структура обнаружена в алмазе (рис., б), кремнии, германии и сером олове, где несвязанные в отдельные молекулы атомы находятся в узлах кристаллической решетки. Вокруг каждого атома такой структуры находятся четыре ближайших атома, отдающие ему по одному валентному электрону для заполнения электронной оболочки до восьми электронов. Вследствие этого возникает ковалентная межатомная связь, обусловленная наличием атомов, связанных общей парой валентных электронов. Металлическая структура, наблюдаемая в металлах, например в меди (рис., в), и сплавах, возникает вследствие взаимодействия положительно заряженных ионов, составляющих остов кристаллической решетки, и отрицательно заряженных коллективизированных электронов (электронного газа). Структура электронных соединений (альфа, бета, гамма, эпсилон) определяется концентрацией валентных электронов, приходящихся на один атом. Большинство чистых металлов и их сплавов, представляющих собой однородные твердые растворы, кристаллизуются в гранецентрированную кубическую, объемноцентрированную кубическую или гексагональную плотноупакованную решетку. Гранецентрированная кубическая решетка наблюдается в меди, алюминии, золоте, платине, серебре, гамма-железе и никеле, объемноцентрированная кубическая — в барии,

молибдене, альфа-железе и хроме, гексагональная плотноупакованная — в бериллии, магнии, осмии и кадмии. Другие элементы периодической системы характеризуются более сложными структурами, удовлетворяющими правилу $8-N$. Согласно этому правилу, кристаллические тела имеют решетки, в которых атом окружен числом ближайших соседних атомов $K = 8 - N$, где N — номер группы в периодической системе элементов. Так, фтор, хлор, бром и йод (элементы VII группы) имеют по одному ближайшему атому. Пара таких атомов с валентной связью находится в узлах кристаллической решетки. У элементов VI группы — по два ближайших соседних атома, поэтому их структура состоит из цепочек, либо смыкающихся в кольчатые молекулы (сера), либо бесконечные (селен, теллур). Элементам Vа подгруппы (мышьяку, сурьме, висмуту) присущи слоистые структуры, около каждого атома к-рых находится три ближайших соседних атома, расположенных в одном слое. У элементов IV подгруппы по правилу $8 - N$ каждый атом окружен четырьмя соседними, что наблюдается в кремнии, германии, сером олове и в модификации углерода — алмазе. В элементарных ячейках многих хим. элементов содержится небольшое количество атомов (1—10), и только в сере на ячейку приходится 125 атомов. Чем сложнее хим. соединение, тем более сложная у него структура. В узлах элементарных ячеек таких структур находятся не отдельные атомы, ионы, а большие молекулы или радикалы, поэтому в этих ячейках содержится от нескольких до 1000

атомов. К. с. многих твердых тел (с гранецентрированной кубической, гексагональной плотноупакованной и ромбоэдрической решетками) образует плотную упаковку. В различного вида неорганических соединениях, где размеры атомов A и B сильно различаются, плотную упаковку образуют атомы A , а атомы B занимают междоузельные пустоты. В зависимости от числа занятых пустот возникают соединения различного состава: AB_1 , AB_2 , A_2B_3 и A_nB_m . Если размеры атомов A и B близки (напр., в интерметаллических соединениях), они составляют единую плотную упаковку. В некоторых жидких телах также наблюдается правильное расположение вытянутых в цепочки длинных молекул в одном или двух измерениях. Таким телам присуща *анизотропия* некоторых св-в, и их относят к кристаллическим. Кроме кристаллического, у твердых тел может быть аморфное строение с беспорядочным расположением атомов относительно друг друга. Вследствие этого аморфные тела, в отличие от кристаллических, изотропны (см. *Изотропия*). В зависимости от условий кристаллизации у одного и того же вещества может быть как кристаллическое, так и аморфное строение. При нагреве возможен переход от аморфной к равновесной структуре (при кристаллизации стекла, сплавов). Определение К. с., т. е. нахождение размеров ячеек, их симметрии и размещения в них атомов, ионов или молекул, осуществляют с помощью дифракции рентгеновских лучей

Кристаллическая структура: а — ионная структура хлористого натрия (● — натрий; ○ — хлор); б — атомная структура алмаза; в — металлическая структура меди.



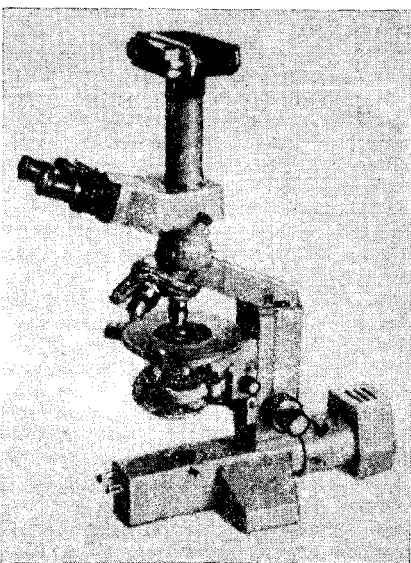
(см. Рентгеновский структурный анализ), электронов и нейтронов.

Лит.: Белов Н. В. Структура ионных кристаллов и металлических фаз. М., 1947; Юм-Розери В., Рейнор Г. В. Структура металлов и сплавов. Пер. с англ. М., 1959.

Б. И. Николин.

КРИСТАЛЛООПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ — анализ кристаллов, основанный на изучении их оптических свойств в поляризованном свете. Физ. основой анализа является *анизотропия* всех кристаллов (исключая кристаллы кубической сингонии). В анизотропных кристаллах во всех направлениях с разной скоростью и разными показателями преломления распространяются две линейно-поляризованные волны, что обуславливает двойное лучепреломление. Один из этих лучей (необыкновенный) колеблется в плоскости главного сечения кристалла, другой (обыкновенный) — в плоскости, перпендикулярной к ней. В одноосных анизотропных кристаллах есть одно изотропное направление (оптическая ось), вдоль к-рого луч света не поляризуется. Такие кристаллы характеризуются двумя показателями преломления, отвечающими обыкновенному (n_0) и необыкновенному

Поляризационный микроскоп ПОЛАМ для кристаллооптического анализа.



(n_e) лучам. Двухосным анизотропным кристаллам (у них две оптические оси) свойственны три показателя преломления: n_g — максимальный, n_m — средний и n_p — минимальный. Эти особенности и учитывают при анализе кристаллов, для к-рого используют поляризационные микроскопы типов ПОЛАМ (рис.), МИН и др. Свет в них поляризуют, пропуская через поляризатор (николь или поляроид). Для исследования используют один николь или скрещенные либо параллельные николи. Величину двойного лучепреломления и оптический знак кристаллов оценивают с помощью компенсационных пластинок (гипсовой, слюдяной) или кварцевого клина. Измерив кристаллооптические константы образца, однозначно определяют минерал (как природный, так и синтетический) или другой твердый материал. Разработаны два метода К. а. — собственно кристаллооптический и иммерсионный. Для исследований по кристаллооптическому методу образцы изготавливают в виде шлифов — пластинок толщиной 0,02—0,03 мм. Исследуя их в параллельном свете, определяют форму и размеры зерен, окраску и *плеохроизм*, измеряют плоские углы между гранями и *спайностью минералов*, приблизительно оценивают показатели преломления. При скрещенных николях определяют изотропность кристаллов, величину двойного лучепреломления и цвет интерференционной окраски, угол погасания, знак удлинения, *двойниковую структуру* и др. В сходящемся свете устанавливают ось кристаллов, их оптический знак, оценивают величину угла и дисперсию оптических осей. Особым видом кристаллооптических исследований является федоровский (теодолитный) метод, с помощью к-рого изучают *полевые шпаты*. Этот метод позволяет измерять углы оптических осей, определять законы двойникования и др. По иммерсионному методу, к-рым чаще всего определяют показатели преломления, раздробленные кристаллы погружают в жидкость с известным

показателем преломления, а затем различными методами сравнивают показатели преломления жидкости и материала. Так, метод Бекке основан на возникновении вокруг погруженных в жидкость кристаллов светлой полоски, к-рая при подвиге тубуса микроскопа смещается на кристалл или на жидкость. Метод термической вариации основан на изменении показателя преломления жидкостей с повышением т-ры.

Лит.: Татарский В. Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод исследования минералов. М., 1965; Фекличев В. Г. Универсальный теодолитно-иммерсионный метод. М., 1967; Ларсен Е., Берман Г. Определение прозрачных минералов под микроскопом. Пер. с англ. М., 1965; Трегер В. Е. Оптическое определение порообразующих минералов. Пер. с нем. М., 1968.

И. Б. Щербаков.

КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ — качественный анализ хим. состава материала по форме кристаллов. Предложен русск. кристаллографом Е. С. Федоровым в начале 20 в. Основывается на законе постоянства кристаллических углов, а также на теории строения кристаллов, согласно к-рой все кристаллические решетки образуются в процессе однородных деформаций растяжений и сдвигов из четырех идеальных решеток. Три из них — кубические (простая, центрированная, центрогранная), четвертая — гексагональная. На кристаллах статистически доминируют те грани, плоские сетки к-рых наиболее густо усажены элементарными частицами (т. е. обладают наибольшей плотностью). Поэтому четырем типам решеток соответствуют различные доминирующие грани. Тем самым создается возможность по форме кристаллов определять (хотя бы приблизительно) типы их решеток, т. е. схему внутренней структуры. Кристаллы с подразделением на кубический и гексагональный типы с соответствующими решетками сведены в спец. таблицы, пользуясь к-рыми определяют вещество исследуемых кристаллов. С этой целью измеряют кристалл на гониометре, придают ему на проекции однозначное положение и вычисляют несколько

угловых величин. Затем, сравнив полученные данные с данными таблиц, исследуемое вещество идентифицируют с соответствующим веществом в таблицах. В процессе К. а. вещество не уничтожается, достаточно малого его количества (даже одного кристаллика), продолжительность исследования не превышает 2—3 ч. Несколько ограничивает применение К. а. возможность определения вещества только при наличии достаточно хорошо образованных кристаллов. Кроме того, анализ возможен лишь для веществ, приведенных в таблицах; кубические и изоморфные вещества с равными углами между гранями одинаковых форм гониометрически неотличимы. Наряду с К. а. все шире используется рентгеновский анализ, с помощью к-рого кристаллическую структуру определяют непосредственно.

Лит.: Шафрановский И. И. Еванграф Степанович Федоров. М.—Л., 1963.

И. И. Шафрановский.

КРИТИЧЕСКИЕ ТОЧКИ (греч. *κρίσις* — переломный) — точки на диаграмме состояния, соответствующие температурам, при к-рых в процессе нагрева или охлаждения качественно изменяется фазовое состояние сплава. Впервые (1868) К. т. в стали определил русский металлург Д. К. Чернов (назв. по его имени точками Чернова). Положение точек на диаграмме состояния определяется хим. составом сплава. Обозначают их буквой А с соответствующим индексом справа (внизу). В доэвтектоидных *железоуглеродистых сплавах*, согласно метастабильной диаграмме состояния железо — цементит, точка A_1 , соответствующая линии PSK , служит границей, ниже к-рой сплав состоит из *феррита* и *цементита*, выше — из *феррита* и *аустенита*, т. е. соответствует превращению *перлита* в аустенит. В этих же сплавах точка A_3 (линия GS) отделяет двухфазную ферритоаустенитную область от однофазной аустенитной и соответствует превращению *альфа-фазы* в *гамма-фазу*, при к-ром объемноцентрированная кубическая решетка альфа-железа перестраивается в гранецентрированную решетку гамма-железа. В заэвтектоидных сплавах точка

(линия SE) отделяет аустенитизированную область от двухфазной области аустенит + цементит. Точка A_4 (линия NI) соответствует превращению гранцентрированного гамма-железа в объемноцентрированное дельта-железо (и наоборот). Иногда к критическим относятся точки, соответствующие т-рам, при к-рых изменяются только магнитные свойства. Так, переход из ферромагнитного в парамагнитное состояние или наоборот обозначают точкой A_2 , при к-рой исчезает ферромагнетизм феррита при нагреве (и возвращается с охлаждением), и точкой A_0 , при к-рой происходит аналогичное превращение цементита. Магн. превращение не влияет на фазы и структуру металла, представляя собой внутриатомное изменение. В отличие от точек A_1 , A_3 и A_4 , точки A_2 и A_0 не связаны с изменением типа кристаллической решетки. К. т., соответствующие определенным превращениям, обнаруживаются при разных т-рах в зависимости от того, определяют их при нагревании или при охлаждении. В процессе нагревания они обычно соответствуют более высокому т-рам. Вследствие этого для точек при нагреве применяют дополнительный индекс «с» (напр., A_{c1} , A_{c3}); для точек при охлаждении — индекс «р» (напр., A_{r1} , A_{r3}). В многокомпонентных сплавах для обозначения начала или конца превращения к точке A добавляют соответственно индекс «н» или «к» (напр., A_{cn}^H , A_{ck}^K). Точки A_1 и A_3 Д. К. Чернов обозначил буквами a и b . Точку «а» он определил как т-ру, при нагреве ниже к-рой сталь не принимает закалку при последующем быстром охлаждении, точку «b» — как т-ру, при нагреве ниже к-рой сталь не изменяет своей структуры — излом ее сохраняет прежний вид. В этом определении подчеркивалось практическое значение точки «b» как т-ры, нагрев выше к-рой необходим для рафинирования крупнозернистой структуры. При определенных условиях, когда превращения при нагреве стали осуществляются кристаллографически упорядоченным механизмом, возможно несовпадение точек A_3 и «b».

Лит.: Д. К. Чернов и наука о металлах. Л.—М., 1950; Садовский В. Д.

Структурная наследственность в стали. М., 1973; Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. М., 1974.

В. Д. Садовский.

КРОВЕЛЬНАЯ СТАЛЬ — тонколистовая сталь с низким содержанием углерода. Используется гл. обр. для покрытия кровли. Производится с 18 в. К. с. подразделяют на обычную (черную) и оцинкованную. Обычная сталь характеризуется низкой коррозионной стойкостью, вследствие чего ее покрывают тонким слоем окислов, образующихся при горячей прокатке и отжиге. Поверхность листов из такой стали должна быть гладкой, с плотной пленкой неотделяющейся окисины, без плен, пузырей, трещин и загрязнений неметаллическими включениями. В зависимости от состояния поверхности различают сталь группы СТК-1 и СТК-2. Толщина слоя цинка на оцинкованной стали — не менее 0,02 мм. В зависимости от состояния поверхности и формы листа различают три сорта такой стали. По сравнению с обычной оцинкованная сталь более коррозионностойка. К. с. производят горячей или холодной прокаткой на тонколистовых станах с дополнительной пробивкой на молотах и с последующим отжигом для повышения пластичности. К. с. выплавляют в основных и кислых маргеновских и электрических печах, поставляют в виде листов толщиной 0,35—0,8, шириной 510—1000 и длиной 710—2000 мм, упакованных в пачки (10—24 или 11—25 шт.) массой 80 кг, или в виде рулонов. Из К. с., кроме листов, изготавливают водосточные трубы, желоба, свесы, колпаки и изделия домашнего обихода. Марки К. с. приведены в ГОСТе 17715—72.

Лит.: Кровельная И. А. Современные кровельные материалы и изделия. М., 1955; Беляковский М. А., Грибберг Д. Л. Производство оцинкованного листа. М., 1973; Козловский А. С. Кровельные работы. М., 1973.

С. Е. Кондратюк.

КРОКИДОЛИТ (от греч. *κροκός* — шерсть, ворс и *λίθος* — камень) — минерал класса силикатов, волокнистая разновидность минерала рибекита группы щелочных моноклинных амфиболов. По хим. составу — железистый силикат натрия. Теорети-

ческая ф-ла $\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2 \times \text{X}(\text{OH})_2$. Содержание осн. окислов (%): $\text{Na}_2\text{O} - 5,18 \div 7,40$; $\text{CaO} - 0,61 \div 0,94$; $\text{MgO} - 1,49 \div 2,59$; $\text{FeO} - 17,80 \div 21,40$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 14,84 \div 18,55$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,21 \div 1,61$; $\text{SiO}_2 - 50,53 \div 52,82$; примеси: $\text{Al}_2\text{O}_3 (0,2 - 0,6)$, иногда до 1,6), $\text{MnO} (0,04 - 0,30)$. Структура цепочечная, сингония моноклиная, вид симметрии призматический. Образует волокнистые агрегаты и прожилки. Легко расщепляется на тонкие волокна. Кроме волокнистого, К. встречается в виде слабо окристаллизованных образований (потенциальный крокидолит-асбест), реже — угловатых кристаллических зерен. По мех. прочности и способности к расщеплению крокидолит-асбест подразделяют на тонковолокнистый — прочный, с характерным шелковистым блеском, легко распушивающийся на очень тонкие волокна, и грубоволокнистый, труднее поддающийся расщеплению, без шелковистого блеска, ломкий, легко поддающийся разрыву. Длина волокон не превышает 75 мм, обычно от 6 до 24 мм. Агрегатная связность волокон несколько выше, чем у волокон хризотил-асбеста (см. *Асбест*); труднее распушивается на тонкие волокна. Волокна эластичного крокидолит-асбеста отличаются высокой прочностью (260—350 кгс/мм²). Плотность 3,2—3,4 г/см³. Цвет темно-синий, реже — сине-зеленый, сине-голубой (см. *Цвет минералов*). Плеохроизм ярко выраженный от фиолетово-темно-синего по N_g до голубовато-серовато-синего по N_p (с осью волокнистости совпадает ось N_p). Показатели преломления: $n_g = 1,689 - 1,710$, $n_p = 1,685 - 1,690$; двупреломление низкое, порядка 0,004—0,006; удлинение отрицательное; $2V = 80 - 90^\circ$. Кислотостойкость и щелочестойкость высокие. Уступает лишь антофиллит-асбесту. Растворимость в к-тах около 5%, в щелочах от 1,3 до 5%. Температурный интервал выделения структурно-связанной воды 920—980° С с максимумом около 950° С. Т-ра плавления высокая: от 1150 до

2000° С. Крокидолит-асбест отличается очень высокой сорбционной способностью (см. *Сорбция*). В воде распадается на очень тонкие эластичные волокна, образуя стойкую суспензию. Генетически крокидолит-асбест связан с метаморфическими осадочными породами (яшмовидными железистыми кварцитами), содержащими свыше 40% окиси железа. Встречается в тесной ассоциации с магнетитом, кварцем и карбонатами. Магнезиальный крокидолит-асбест развит в метаморфогенно-метасоматических породах Кривого Рога и железистых кварцитах в ассоциации с рибекитом, родуситом, куммингтонитом и магнезитом. В результате выветривания приобретает красную или желтовато-бурую окраску. Прорастания К. кварцем (т. н. тигровый глаз) служат для различных поделок. Крокидолит-асбест используют для изготовления пряжи и тканей, что в сочетании с кислотостойкостью делает его незаменимым в произ-ве многих материалов.

Лит.: Требования промышленности к качеству минерального сырья. Справочник для геологов, в. 5. М., 1959; Бетехтин А. Г. Курс минералогия. М., 1961; Соболев Н. Д., Соболева М. В. Новое проявление крокидолит-асбеста в СССР. «Минеральное сырье», 1963, в. 8; Соболева М. В. Минералогия волокнистых минералов группы амфиболов и серпентина. М., 1972.

Н. И. Бучинская.

КРОКУС (греч. *κρόκος* — шафран) —полирующий материал, представляющий собой тонкодисперсную окись железа альфа-модификации. Размер его частиц 0,1 ÷ 1,5 мкм. Различают К. природный и синтетический. Природный К. — очень тонкий порошок шафранного цвета; служит гл. обр. абразивным компонентом полировальных паст. Синтетический К. содержит в качестве примесей окислы кремния, алюминия, титана, кальция, магния, свинца и др. Его подразделяют на обжиговый, содовый, из пыли колчеданных огарков (отходов серноокислотного произ-ва) и из шлама (отходов произ-ва органических к-т, состоящих в основном из окислов и гидратов окислов железа). Обжиговый К. получают из железного купороса или гидрата окиси железа обжигом при т-ре 750—770° С. Образовавшуюся окись железа альфа-модификации охлаж-

дают, измельчают, промывают водой и процеживают через шелковое сито. Содовый К. получают из железного купороса осаждением содой. К. из пыли колчеданных огарков, являющейся окисью железа, производят обжиговым или промывным способом. Примеси сульфатов, содержащиеся в пыли, удаляют разложением при обжиге (т-ра 700—750° С) или растворением в воде. Обожженную (или промытую) пыль измельчают, промывают и процеживают через шелковое сито. К. из шлама также получают обжигом, измельчением, промыванием и процеживанием. Спиритический К. используют для полирования стекла, благородных и цветных металлов, чугуна, стали, латуни, цинковых сплавов и др. См. также *Гематит, Полирит*.

Лит.: Качалов Н. Н., Воанов В. Г., Корелова А. И. Крокус. Л.—М., 1951; Бродский Ю. А. Полированное стекло. М., 1961; Справочник по производству стекла, т. 2. М., 1963; Китайгородский И. И. [и др.]. Технология стекла. М., 1967.

А. М. Черепанов.

КРОНЫ [нем. Kron(gläser)] — оптические стекла, не содержащие или содержащие малое количество окиси свинца. Пром. произ-во К. освоено в 1805 в Баварии. К. отличаются от *технических стекол* большей степенью однородности и светопрозрачности, постоянством оптических констант. В зависимости от хим. состава, показателя преломления, измеренного по отношению к желтой линии спектра, и коэфф. дисперсии стекла такого типа подразделяют на легкие кроны (ЛК), фосфатные кроны (ФК), кроны (К), баритовые кроны (БК), тяжелые кроны (ТК) (табл.), а также сверхтяжелые кроны (СТК). В сверхтяжелые К., по-

мимо окислов, содержащихся в др. К., вводят окислы лантана, тория, кадмия и др. Показатель преломления и коэфф. дисперсии зависят от типа К. и составляют соответственно 1,4398—1,7424 и 56—70. По стойкости к атм. влаге К. подразделяют на непалетоопасные (группа А), промежуточные (группа Б) и палетоопасные (группа В); по стойкости к пятнающим агентам — на непятнающиеся, средней пятнаемости, пятнающиеся и нестойкие, требующие применения защитных покрытий. К. получают расплавлением материалов, тщательным перемешиванием стекломассы в процессе варки и тонким *отжигом* стекла, обеспечивающим его однородность. Высокая прозрачность достигается применением особо чистых сырьевых материалов. Из заготовок стекла шлифованием и полированием изготавливают линзы, призмы, круглые или прямоугольные пластины и плитки. Комбинируя изделия с различными показателями преломления и коэфф. дисперсии, изготавливают ахроматические оптические системы. Линзы из К. используют для изготовления луп, биноклей, телескопов, очков и др. оптических приборов. Кроме того, К. применяют в атомной технике — в качестве радиационностойких стекол (с добавкой окиси церия — до 1%) и стекол (типов БК и ТК) для поглощения ионизирующих излучений. Требования к К. регламентируются ГОСТами 3514—67; 13917—68 и 13659—68.

Лит.: Бардин А. Н. Технология оптического стекла. М., 1963; Демкина Л. И. [и др.]. Новые оптические

Химический состав кронов

Тип кронов	Содержание компонентов, %										
	SiO ₂	B ₂ O ₃	K ₂ O	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	BaO	ZnO	F	MgO	PbO	Na ₂ O
Легкие (ЛК)	53,3	16,2	16,2	8,8	0,2	—	—	5,3	—	—	—
Фосфатные (ФК)	—	3,0	12,0	10,0	0,5	—	—	—	4,0	—	70,5
Кроны (К)	72,0	8,4	10,5	—	0,2	—	—	—	0,5	—	1,5
Баритовые (БК)	49,5	4,8	7,6	—	0,2	21,6	12,5	—	—	2,6	1,2
Тяжелые (ТК)	32,7	13,2	—	3,4	1,6	45,9	3,5	—	—	—	—

стекла. В кн.: Оптическое стекло. Л., 1972; Стекло. Справочник. М., 1973.

М. Д. Щеглова.

КРУПНОПОРИСТЫЙ БЕТОН, б е с п е с а ч а н ы й б е т о н — получаемый в результате твердения минерального *вяжущего материала*, крупного *заполнителя* и воды и отличающийся наличием равномерно распределенных крупных пор (пустот). В качестве вяжущих применяют *портландцемент*, *шлакопортландцемент*, *известково-кремнеземистые* и *гипсоцементопуццолановые* вяжущие. Заполнители — тяжелый *гравий* или *щебень*, легкие виды природного гравия (туфовый, пемзовый и др.), искусственные легкие заполнители (керамзитовый гравий, щебень аглопоритовый, щебень из металлургического шлака, *шлаковой пемзы*, зол, горелых пород, кирпичного боя и пр.). Рекомендуется применять одnofракционный заполнитель с размером зерен 5—40 мм. В сухом состоянии К. б. подразделяют на тяжелый с объемной массой 1800 кг/м³ и более и легкий с объемной массой менее 1800 кг/м³. По прочности на сжатие К. б. подразделяют на марки 10, 15, 25, 35, 50, 75 и 100. Коэфф. теплопроводности К. б. 0,55—0,8 ккал/м · ч × град. Расход цемента на 1 м³ бетона 70—150 кг. К. б. применяют для изготовления блоков и панелей, возведения монолитных ограждающих конструкций. Стены из такого бетона рекомендуются оштукатуривать с двух сторон. К. б. с объемной массой 500—700 кг/м³ используют как теплоизоляционный материал.

Лит.: Скрамтаев Б. Г. Крупнопористый бетон и его применение в строительстве. М., 1955; Трощко Т. Т. Автоклавный крупнопористый силикатный бетон на легких заполнителях. «Строительные материалы», 1959, № 12; Бу же в и ч Г. А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. М., 1970. А. С. Карнаух.

КСЕНОН (Xenon; от греч. ξένος — чужой), Хе — хим. элемент VIII группы периодической системы элементов; ат. н. 54, ат. м. 131,30. Инертный газ. Природный К. является смесью девяти стабильных изотопов, среди к-рых наиболее распространены изотопы ¹²⁹Xe (26,44%), ¹³¹Xe (21,18%) и ¹³²Xe (26,89%).

Получены 15 радиоактивных изотопов. К. открыли (1898) англ. ученые У. Рамзай и М. Траверс, обнаружив его как небольшую примесь к *крипτονу*. К. — редкий газ, его содержание в атмосфере $0,39 \times 10^{-4}\%$. Св-ва инертных газов монотонно изменяются от легкого гелия к тяжелому К.: возрастает радиус молекулы, ослабевает связь внешних электронов с ядром, что усиливает способность молекул деформироваться. У К. наибольшая *растворимость*, сжимаемость и т. д. Осн. термодинамические параметры — критическая точка: $T_{кр} = 289,74$ К; $P_{кр} = 57,64$ ат; $\rho_{кр} = 1,1$ г/см³; тройная точка: $T_{тр} = 161,37$ К; $P_{тр} = 612,2$ мм рт. ст.; $\rho_{тр} = 3,399$ г/см³. Нормальная т-ра кипения 165,04 К (760 мм рт. ст.); т-ра плавления 161,35 К; скрытая теплота плавления 548,5 кал/моль; теплота испарения (в точке кипения) 3020,0 кал/моль; теплота сублимации (т-ра 0 К) 3828,0 кал/моль. Газообразный К. — без цвета и запаха, состоит из одноатомных молекул. При т-ре 0° С и давлении 760 мм рт. ст. его плотность 5,8971 кг/м³; коэфф. теплопроводности $1,26 \times 10^{-5}$ кал/см · сек · град; вязкость 210,1 мкпз; теплоемкость (т-ра 20° С) $c_p = 4,9680$ кал/моль · град. Растворимость в воде: 203,2 см³/л (т-ра 0° С) и 40,3 см³/л (т-ра 80° С). В жидком состоянии плотность К. (при норм. давлении) 3,057 г/см³; теплоемкость $c_p = 10,65$ кал/моль × град (т-ра 163—165 К). Количество газа, образующегося при испарении 1 л жидкости, — 518,9 л. У твердого К. — гранецентрированная кубическая решетка с периодом $a = 6,131$ Å (т-ра 10 К). Плотность К. в интервале т-р 160—20 К изменяется от 3,407 до 3,795 г/см³; температурный коэфф. объемного расширения в этом же интервале т-р уменьшается с $12,96 \cdot 10^{-4}$ до $3,32 \cdot 10^{-4}$ град⁻¹. Коэфф. теплопроводности в интервале т-р 120—25 К увеличивается с $0,54 \cdot 10^{-3}$ до $4,32 \cdot 10^{-3}$ кал/см · сек · град. В интервале т-р 150—11 К теплоемкость c_p уменьшается с 8,04 до 2,22 кал/моль · град,

теплоемкость c_v с 5,05 до 2,21 кал/моль · град. Т-ра Дебая 65 К. Макс. прочность на разрыв (т-ра 110 К) 537 гс/мм². К. — первый инертный газ, для к-рого получены соединения с гексафторидами платины, рутения, родия и плутония: XePtF_6 , $\text{Xe}(\text{PtF}_6)_2$, XeRuF_6 , XeRhF_6 и XePtF_6 . Известны также фториды ксенона XeF_2 , XeF_4 , XeF_6 и XeF_8 . Их получают в спец. никелевой аппаратуре. Подобно др. инертным газам К. образует клатратные соединения, напр. $\text{Xe} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. В пром-сти К. получают при разделении воздуха методом глубокого охлаждения. К. применяют гл. обр. для производства ксеноновых газоразрядных ламп, используемых при киносъемках, в телевизионных студиях и т. д. Изотоп ^{135}Xe характеризуется значительным сечением захвата тепловых нейтронов — (2,7—2,8) 10^6 барн. Лит. см. к ст. Криптон.

А. В. Леонтьева.

КУНИАЛЬ [от лат. *cu*(prum) — медь, *ни*(кель) и *ал*(юминий)] — дисперсионно-твердеющий сплав меди с никелем и алюминием. За рубежом применяется с 1922, в СССР — с 1931. Изготавливают К. двух марок: куняль А — МНА13-3 (12—15% Ni, 2,3—3% Al) и куняль Б — МНА6-1,5 (5,5—6,5% Ni, 1,2—1,8% Al) с различными св-вами (табл.). Куняль А выпускают в виде прутков, прессованных из круглых слитков. Из куняля Б изготавливают полосы (прокаткой плоских слитков). К. обладает высокими мех. св-вами при обычных и низких т-рах, хорошей коррозионной стойкостью в атмосфере, пресной и морской воде, его легко обрабатывать давлением в го-

рячем и холодном состоянии. Прочность и твердость К. повышаются после закалки с т-ры 900° С и отпуска при т-ре 500—550° С. Т-ра горячей обработки куняля А — 900—1000° С, куняля Б — 850—900° С. Куняль А предназначен для изготовления деталей повышенной прочности в машиностроении, куняль Б — для изготовления пружин и других деталей спец. назначения в электротехнике. Хим. состав К. регламентирует ГОСТ 492—73.

Лит.: Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. Б. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974; З а к с Г. Практическое металлостроение, т. 3. Пер. с нем. М.—Л., 1937. Г. Е. Шпичинский, Е. С. Шпичинский.

КУНИКО [от лат. *cu*(prum) — медь, *ни*(кель) и *ко*(бальт)] — магнитно-твердый деформируемый сплав меди с никелем и кобальтом. Разработан в 1938 в Германии. В СССР сплав производят с 1950. Хим. состав К.: 19—23% Ni, 27—31% Co, остальное — медь и примеси. Полуфабрикаты в твердом или мягком состоянии в виде полос и проволоки изготавливают из слитков холодной прокаткой с промежуточными отжигами при т-ре 800—850° С в течение 6—24 ч. Суммарные обжатия между отжигами 40—60%. Чтобы избежать образования трещин, заготовки перед отжигом подвергают отпуску при т-ре 400° С. При повышенных т-рах К. хрупок. Оптимальные магн. св-ва сплав приобретает после закалки с т-ры 1050—1075° С в масле, подогретом до т-ры 150° С,

Свойства куняля

Марка куняля	ρ , г/см ³	$t_{пл}$, °С	σ_B , кгс/мм ²		δ , %		σ_{H^*} , кгс-м/см ²	НВ	
			Мягкий	Твердый	Мягкий	Твердый		Твердый	Облагороженный
Куняль А (МНА13-3)	8,5	1145	35—40	90—95	10—15	4—6	5	200	260
Куняль А (МНА6-1,5)	8,7	1120	32—38	65—75	25—35	5—10	12	160	200

и последующего отпуска при t -ре 650°C в течение 6 ч. После такой термообработки *коэрцитивная сила* достигает 830 э, остаточная индукция 3500 гс. Плотность К. $8,8 \text{ г/см}^3$, уд. электросопротивление — $0,36 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, твердость после наклепа на 70% составляет 350 HV, после отжига 180 HV. К. легко обрабатывать резанием, в отожженном и закаленном состоянии он пластичен, из него можно штамповать детали сложной формы. Применяют сплав для изготовления пост. магнитов радиотехнических и др. приборов. Хим. состав К. регламентирован ТУ 48—21—322—73.

Г. Е. Шпичинецкий, Е. С. Шпичинецкий.

КУНИФЕ [от лат. *cu*(prum) — медь, *ni*(кель) и лат. *fe*(trum) — железо] — магнитно-твердый деформируемый сплав меди с никелем и железом. Разработан в 1935 в Германии. В СССР применяется с начала 40-х гг. Выпускают сплав двух марок: «Кунифе 40» (40% Cu, 40% Ni, 20% Fe) и «Кунифе 60» (60% Cu, 20% Ni, 20% Fe). Полуфабрикаты в виде лент и полос изготовляют из слитков прокаткой с промежуточными смягчающими *закалками* при t -ре $1000\text{—}1100^{\circ}\text{C}$. Допустимые суммарные обжатия не превышают 60%. Оптимальные магн. св-ва сплав приобретает после закалки от t -ры $1000\text{—}1100^{\circ}\text{C}$ на воздухе и последующего *отпуска* при t -ре $600\text{—}650^{\circ}\text{C}$ в течение часа. После такой термообработки *коэрцитивная сила* «Кунифе 40» составляет 100 э, остаточная индукция 5000 гс, а «Кунифе 60» — соответственно 550 э и 5400 гс. Мех. св-ва «Кунифе 40» после прокатки с обжатием 50%: твердость 250 HV; предел прочности 37 кгс/мм^2 ; относительное удлинение 4%, а после закалки при t -ре 1000°C соответственно — 160 HV, 65 кгс/мм^2 и 40%. Плотность К. обеих марок — $8,6 \text{ г/см}^3$, удельное электросопротивление «Кунифе 60» — $0,32 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, «Кунифе 40» — $0,5 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Сплавы К. легко обрабатывать резанием, после закалки они пластичны, легко поддаются штампованию. Их используют для изготовления мелких пост. магни-

товых в измерительных, звукозаписывающих и др. приборах.

Г. Е. Шпичинецкий, Е. С. Шпичинецкий.

КУПОРОСЫ (франц. *couperoses*, от лат. *cuprīta* — медная роза) — минералы класса *сульфатов*. К К. относятся мелантерит, госларит, пиберит, бутит и моренозит. М е л а п т е р и т — семиводный сульфат железа. Используют его для изготовления чернил, в кожевенной и хим. промышленности (см. также *Мелантерит*). Г о с л а р и т, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — семиводный сульфат цинка. В искусственном госларите проследживается сплошная изоморфная серия до $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, а в природном госларите $\text{Mg}:\text{Zn} = 46:54$. Медь, железо и марганец замещают цинк. Разности госларита: магнистый, железистый, медный. Хим. состав (%): ZnO — 28,30; SO_3 — 27,84; H_2O — 43,86. Структура островная, сингония ромбическая, вид симметрии ромботетраэдрический. Встречается в виде налетов, корочек или сталактитовых и сталагмитовых масс с волокнистым строением; плотный, зернистый или волокнистый. Кристаллы игольчатые, волосовидные. Искусственные кристаллы призматические по [001]. Спайность (см. *Спайность минералов*) по [010] совершенная. Плотность $1,978 \text{ г/см}^3$. Твердость 2,0—2,5. Хрупкий. Бесцветный и прозрачный в чистых кристаллах, а в образцах, содержащих изоморфную примесь железа, марганца и меди, цвет переходит в коричневый, зеленый или голубой (см. *Цвет минералов*). Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный, шелковистый и волокнистый. Сильно диамагнитен. Хорошо растворим в воде. Легко обезвоживается, переходя в белый порошок. Вкус вяжущий, металлический, тошнотворный. Двухосный, отрицательный; $2V = 71^{\circ}$. Показатели преломления: $n_g = 1,479$; $n_m = 1,475$; $n_p = 1,452$. Кривая нагревания характеризуется эндотермическими эффектами при t -рах 35; 60; 145; 300; 770; 890 и 950°C . Образуется в зоне окисления месторождений, обогащенных цинком (сфалеритом). Получают его в виде кристаллов выпариванием водных растворов ниже t -ры 38°C . Применяют в крашении и ситцепечатании, для получения металличе-

ного цинка электролитическим способом, как медицинское вяжущее средство, как исходное вещество для получения др. соединений цинка. Биберит, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — семиводный сульфат кобальта. В искусственном биберите двухвалентное железо замещает кобальт, образуя полную серию твердых растворов до $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Кобальт частично замещается медью и магнием. Хим. состав (%): CoO — 26,66; SO_3 — 28,48; H_2O — 44,86. Структура островная, сингония моноклиная, вид симметрии призматический. Встречается в сталактитах и корках. Искусственные кристаллы по форме напоминают мелантерит. Спайность по (001) совершенная, по (110) ясная. Плотность 1,96 г/см³. Твердость около 2. Цвет розово-красный или мясо-красный. Блеск стеклянный. Двухосный, положительный; $2V = 88^\circ 0'$. Показатели преломления: $n_g = 1,489$; $n_m = 1,483$; $n_p = 1,477$. На воздухе обезвоживается, переходя в пентагидрат сульфата кобальта, становится при этом непрозрачным, мучнистым. На кривой нагревания наблюдаются эндотермические эффекты при т-рах 140; 350 и 950° С: первые два соответствуют ступенчатому выделению воды, третий фиксирует разрушение сульфата. Образуется при окислении сульфидных и мышьяковистых руд, содержащих кобальт. Получают его в виде кристаллов из водных растворов при т-ре ниже 40° С. Водный раствор CoSO_4 применяют при гидрометаллургической переработке кобальтсодержащего сырья, чтобы извлечь кобальт. Бутит, $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — семиводный сульфат меди. Разность, богатая магнием, наз. купромагнетитом. Хим. состав (%): CuO — 27,85; SO_3 — 28,02; H_2O — 44,13. Структура островная, сингония моноклиная, вид симметрии призматический. Плотный зернистый или волокнистый, реже — в виде кристаллов. Спайность по (001) несовершенная 2,0—2,5. Плотность 2,1 г/см³. Твердость 2,0—2,5. Цвет синий, несколько более бледный, чем у кальцита. Прозрачный или просвечивающий. Блеск стеклянный, в волокнистых образцах шелковистый или перламутровый. Двухосный; угол $2V$ большой.

Показатели преломления: $n_g = 1,49$; $n_p = 1,47$. Легко растворим в холодной воде. На сухом воздухе теряет частично воду и переходит в халькантит. При нагревании до т-ры 105° С теряет часть воды ($6\text{H}_2\text{O}$); оставшаяся вода выделяется при более высокой т-ре. Выделяется при окислении медьсодержащих колчеданных руд. Получают его после внесения в пересыщенный раствор сульфата меди заправки моноклиновых кристаллов $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ при т-ре 15—20° С. Применения др. соединений меди. Раствором медного купороса опрыскивают растения и протравливают зерно перед посевом. Моренозит, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — семиводный сульфат никеля. Образуется изоморфный ряд с эпсомитом. В искусственном моренозите прослежено замещение никеля железом и медью. Разность с изоморфной примесью магния наз. пикромелином. Хим. состав (%): NiO — 26,59; SO_3 — 28,51; H_2O — 44,90. Структура островная, сингония ромбическая, вид симметрии ромботетраэдрический. В природе встречается в виде корочек, состоящих из неясных кристаллов, волокон и сталактитов. Искусственные кристаллы короткопризматические по {001} с преобладающими формами {110}, {111}, {010}, {101}. Спайность по (010) ясная. Плотность 1,953 г/см³. Твердость 2,0—2,5. Цвет яблочно-зеленый до зеленоватобелого. Черта белая, слегка зеленоватая. Блеск стеклянный. Излом (см. Излом минералов) раковистый. Слегка парамагнитен. Вкус металлический, вяжущий. Незаменимые разности прозрачны. Двухосный, отрицательный; $2V = 41^\circ 54'$. Показатели преломления: $n_g = 1,492$; $n_m = 1,489$; $n_p = 1,467$. Легко растворяется в воде. При обезвоживании переходит в реттерсит. Кривая нагревания характеризуется эндотермическими эффектами, связанными со ступенчатым выделением воды (при т-рах 160 и 390° С) и разложением сульфата (при т-ре 290° С). Образуется при окислении никельсодержащих сульфидов в обычных

температурных условиях. Получают его из чистого водного раствора при t -ре ниже $31,5^\circ \text{C}$. Водный раствор NiSO_4 применяют в гальванотехнике, для изготовления аккумуляторов, для получения твердых сплавов, для изготовления *катализаторов*.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Дэна Дж. Д. [и др.]. Система минералогии, т. 1, полутома 1—2. Пер. с англ. М., 1951.

В. И. Сребродольский.

КУПРИТ (от лат. *cuprum* — медь), Cu_2O — минерал класса *окислов*. Синоним: *з а к и с ь м е д и*. Разности: *х а л ь к о т р и х и т* — волосистый, или сетчатый К.; *к и р п и ч н а я*, или *п е ч е н о ч н а я* медная руда — землистый, или скрыто кристаллический К., содержащий примеси лимонита. Хим. состав (%): Cu — 88,82; O — 11,18. Содержит примеси цинка, свинца, железа (до десятых долей процента), кадмия, олова, висмута, германия и индия. Структура координационная, сингония кубическая, вид симметрии пентагон-триоктаэдрический. Образует кристаллы в форме октаэдров, реже — кубов и ромбододекаэдров, часто сильно искаженных до волосоподобных (халькотрихит). Обычны также плотные, землистые и зернистые агрегаты. Спайность по октаэдру прерывистая (см. *Спайность минералов*). Плотность 6,14 г/см³. Твердость 3,5—4,0. Цвет красный, различных оттенков (см. *Цвет минералов*). Черта коричневатокрасная. Блеск алмазный или полуметаллический К. *Блеск минералов*. Излом раковистый до неровного (см. *Излом минералов*). В проходящем свете слабо прозрачен, красный. Изотропен, $n = 2,849$. В отраженном свете голубовато-белый с кроваво-красными внутренними рефлексами. Аномально анизотропен, плеохроирует. Отражательная способность: зеленого — 30, оранжевого и красного соответственно 22,5 и 21,5%. Обычный минерал зоны окисления медных месторождений, где ассоциирует с медью самородной, малахитом, азуритом, халькозином, хризоколлой. Известен в медистых песчанниках. В базальтах Волыни образует корочки

на зернах самородной меди. получают восстановлением медных солей в щелочных растворах, плавлением или нагреванием на воздухе меди или смеси меди с окисью меди, а также электролизом раствора сульфата меди CuSO_4 . Природный К. используют в качестве медной руды высокого качества. Искусственный К. обуславливает функционирование купроксных выпрямителей и купроксных фотоэлементов.

Лит.: Минералы. Справочник, т. 2, в. 2. М., 1965; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дэна Дж. Д. [и др.]. Система минералогии, т. 1, полутом 2. Пер. с англ. М., 1951.

Л. К. Яхонтова.

КУРЧАТОВИЙ (Kurchatovium; по имени сов. физика И. В. Курчатова), Ку — искусственно полученный радиоактивный хим. элемент IV группы *периодической системы элементов*; ат. н. 104. К. — первый «трансактиноидный» элемент, для которого характерна степень окисления +4. Известны изотопы К. с массовыми числами 257—261 и периодами полураспада соответственно $4,5 \pm 1,0$; $0,01$; $4,5 \pm 1,5$; около 0,1 и около 65 сек. К. получен (1964) в Дубне (СССР) группой сов. физиков во главе с Г. Н. Флеровым при бомбардировке изотопа ^{242}Pu ускоренными ионами ^{22}Ne . В 1969 амер. ученые А. Гиорсо и др. сообщили о получении в Беркли (США) изотопов 104-го элемента с массовыми числами 257, 258 и 261 при облучении мишеней из калифорния, берклия и юрия ускоренными ионами углерода, азота и кислорода, предложив назвать этот элемент резерфордием (Rf). Хим. св-ва К. аналогичны хим. св-вам гафния. Безводный хлорид К. возгоняется при t -ре 313°C .

Лит.: Флеров Г. Н., Друин В. А., Плеве А. А. Устойчивость тяжелых ядер и граница периодической системы элементов. «Успехи физических наук», 1970, т. 100, в. 1; Флеров Г. Н., Звара И. Химические элементы второй сотни. Дубна, 1971; Звара И. [и др.]. Химическое выделение курчатовия. Дубна, 1971.

В. Л. Павлов.

КЮРИ ТОЧКА, К ю р и т е м п е р а т у р а [по имени франц. физика П. Кюри (P. Curie)] — точка на кривой *диаграмм состояния*, ограничивающей область существования фазы с дальним порядком. В *магнитных материалах* точки Кюри ограничивают область ферро- и фер-

или более сложного (напр., типа ферромагнитной спирали) порядка, в сегнетоэлектрических материалах — область упорядочения электр. диполей, во мн. сплавах — область атомного порядка. В К. т. осуществляется фазовый переход первого или второго рода, связанный со скачкообразным изменением симметрии системы, происходит переход ферромагнитных материалов из ферромагнитного в парамагнитное состояние вследствие разрушения магн. порядка тепловыми колебаниями, а также переход из состояния со спонтанной (самопроизвольной) намагниченностью в состояние со скомпенсированными магн. моментами (напр., в тяжелых редкоземельных металлах). К. т. железа составляет 1043 К, кобальта — 1393 К, никеля — 631 К, магнетита — 858 К, железонитридевого граната — 560 К, гадолиния — 289 К, тербия — 223 К, диспрозия — 87 К, гольмия — 20 К, эрбия — 19,6 К, тулия — 38 К. В К. т. некоторых материалов (напр., мн. редкоземельных металлов) происходит переход в антиферромагнитное состояние. При более высокой т-ре (Нееля точке) это состояние разрушается и осуществляется переход в неупорядоченное состояние. Ниже К. т. электр. диполи в сегнетоэлектриках ориентированы параллельно, в антисегнетоэлектриках — антипараллельно. У сегнетовой соли К. т. составляет 297 К (верхняя) и 255 К (нижняя), у титаната бария — 391 К, ортофосфата калия — 122 К, цирконата свинца — 503 К, ниобата натрия — 911 К. Вблизи К. т. ярко выражены аномалии физ. свойств. В точке Кюри первого рода можно определить скачки энтропии, параметров решетки, намагниченности и т. д. В К. т. второго рода наблюдаются скачки теплоемкости, магнитного рассеяния нейтронов, диэлектрической проницаемости, скачки упругих модулей, коэфф. термического расширения, аномалии кинетических коэффициентов. На их измерении основаны методы определения точки Кюри.

Лит.: Смирнов А. А. Молекулярно-кинетическая теория металлов. М., 1966; Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971; Кенциг В. Сегнетоэлектрики

и антисегнетоэлектрики. Пер. с англ. М., 1960; Смит Я., Вейн Х. Ферриты. Пер. с англ. М., 1962. А. И. Мицек.

КЮРИЙ (Curium; по имени франц. физиков П. Кюри и М. Склодовской-Кюри), Cm — искусственно полученный радиоактивный хим. элемент; ат. н. 96; относится к *актиноидам*. Блестящий серебристый металл, менее летучий, чем *америций*; по ковкости напоминает металлический *плутоний*. Для К. характерна степень окисления +3, однако известны и устойчивые соединения К. со степенью окисления +4 (двуокись CmO_2 и тетрафторид CmF_4). Впервые синтезирован и идентифицирован в 1944 амер. учеными Г. Сиборгом, Р. Джеймсом и А. Гиорсо в виде изотопа ^{242}Cm , к-рый образовывался при облучении мишени из изотопа ^{239}Pu альфа-частицами. Стабильных изотопов не имеет. Известно 13 изотопов К. с массовыми числами от 238 до 250. Наиболее доступны изотопы ^{242}Cm и ^{244}Cm , получаемые в ядерных реакторах при длительном облучении нейтронами плутония или *америция*. Количество накопленного изотопа ^{244}Cm измеряется килограммами. Более долгоживущие изотопы $^{245}\text{—}^{248}\text{Cm}$ образуются в ядерных реакторах в виде смеси, в к-рой при не очень продолжительном облучении преобладает изотоп ^{246}Cm , а затем начинает накапливаться изотоп ^{248}Cm . Изотопы ^{245}Cm и ^{247}Cm не образуются в больших количествах из-за сильного деления тепловыми нейтронами. Металлический К. существует в двух кристаллических модификациях. При комнатной т-ре металл имеет двойную гексагональную структуру плотной упаковки с периодами решетки $a = 3,4 \pm 0,01 \text{ \AA}$ и $c = 11,93 \pm 0,02 \text{ \AA}$. При высокой т-ре существует гранецентрированная кубическая решетка с периодом $a = 5,039 \pm 0,002 \text{ \AA}$. Плотность металла $19,2 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 1340 \pm 40^\circ \text{C}$. Изотопы К. находят применение в исследовательских работах в области ядерной физики. В частности, мишени из изотопов ^{246}Cm и ^{248}Cm используют при синтезе далеких

трансурановых элементов с помощью ускоренных многозарядных ионов. Большое выделение тепла в препаратах из изотопов ^{242}Cm и ^{244}Cm , обусловленное их альфа-распадами, дает возможность использовать эти изотопы для создания малогабарит-

ных источников электр. тока, способных непрерывно работать в течение нескольких месяцев.

Лит.: Мясоедов Б. Ф. [и др.]. Аналитическая химия трансактиноидных элементов. М., 1972; Хайд Э., Перлман И., Сиборг Г. Ядерные свойства тяжелых элементов, в. 1. Пер. с англ. М., 1967; Baybarz R. D., Adair H. J. Preparation of the high temperature form of curium metal. «Journal of Inorganic and Nuclear chemistry», 1972, v. 34, № 10.

Г. Н. Флеров.

Л

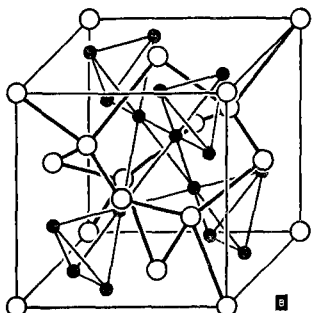
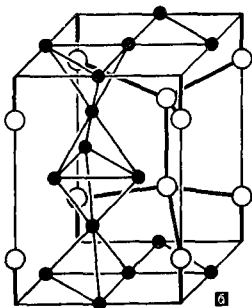
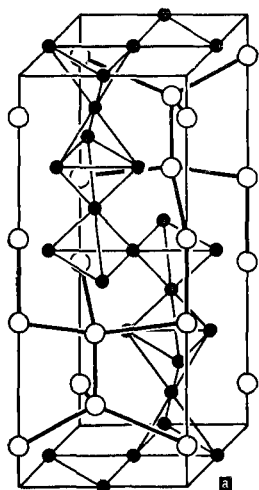
ЛАВЕСА ФАЗЫ (по имени швейцарского ученого Ф. Лавеса) — фазы, представляющие собой интерметаллические соединения, образованные двумя или более металлами (иногда с участием полуметаллов). Обладают родственными между собой структурами типов

$\text{MgZn}_2 (\lambda_1)$, $\text{MgCu}_2 (\lambda_2)$, $\text{MgNi}_2 (\lambda_3)$

и их производными с общей формулой Rx_2 . Структуры состоят из однотипных сеток и отличаются их чередованием: λ_1 — АВ АВ...; λ_2 — АВ СА ВС...; λ_3 — АВ СА ВА ВС... Такие структуры представляют собой в идеальном случае плотнейшие

упаковки шаров различного радиуса (отношение радиусов 1,225) (рис.). Однако известны Л. ф. с отношением атомных радиусов от 1,04 до 1,68, а в некоторых системах металлов с таким же отношением радиусов Л. ф. не образуются. Л. ф. отличаются высокими координационными числами: λ_1 и λ_2 — 12 для R- и x-атомов; λ_3 — 16 для R-атомов и 12 для x-атомов. Фазы обладают металлической проводимостью (на 10—15% ниже проводимости твердого раствора со структурой одного из образующих фазу металлов того же состава), высокой твердостью (700—1500 кгс/мм²), но хрупки. Т-ра плавления Л. ф. не превышает т-ру плавления более тугоплавкого компонента. Часто на основе фаз образуются

Структуры Лавеса фаз: а — $\text{MgNi}_2 (\lambda_3)$, \bigcirc — Mg, \bullet — Ni; б — $\text{MgZn}_2 (\lambda_1)$, \bigcirc — Mg, \bullet — Zn; в — $\text{MgCu}_2 (\lambda_2)$, \bigcirc — Mg, \bullet — Cu.



твердые растворы с широкой областью гомогенности, иногда — соединения со структурой Л. ф., но при др. стехиометрическом составе (Ti_2Cr_3 , Ta_2Cr_3 , LuMn_5 , AuRe_5 .) В одной и той же системе может образоваться несколько Л. ф. при различных составах (Ti_2Cr_3 , TiCr_2) или т-ра (ZrCr_2 с полиморфизмом $\lambda_1 \rightleftharpoons \lambda_3 \rightleftharpoons \lambda_2$). Л. ф. выявляют с помощью рентгеноструктурного анализа. Они, как правило, вредны в сплавах (охлаждают их). Иногда используются как упрочняющие фазы и как защитные жаростойкие покрытия.

Лит.: Теслюк М. Ю. Металлические соединения со структурами фаз Лавеса. М., 1969; Свечников В. Н. [и др.]. Исследование фазовых равновесий в сплавах тугоплавких металлов. «Металлофизика», 1974, № 52. Ю. А. Кочержинский.

ЛАЗУРИТ (от араб. лазавард — голубой камень) $(\text{Na}, \text{Ca})_8 [(\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl})_2 | (\text{AlSiO}_4)_6]$ — минерал класса *силикатов*. Синонимы: *ляпис лазурь*, *ультрамарин* (искусственный Л.). Хим. состав (%): $\text{Na}_2\text{O} — 16,8$; $\text{CaO} — 8,7$; $\text{Al}_2\text{O}_3 — 27,2$; $\text{SiO}_2 — 31,8$; $\text{SO}_3 — 11,8$; $\text{S} — 0,34$; $\text{Cl} — 0,25$ и примеси H_2O , SrO , MgO , K_2O , Fe_2O_3 и CO_2 . Структура каркасная, сингония кубическая, вид симметрии гексоктаэдрический. Наблюдается в виде сплошных плотных масс. Очень редко образует кристаллы с гранями куба {100} и ромбододекаэдра {110}. Спайность (см. *Спайность минералов*) несовершенная по {110}. Плотность 2,42 г/см³. Твердость 6. Хрупкий. Цвет (см. *Цвет минералов*) густой лазурно-синий, голубой, фиолетовый, зеленый, зеленовато-синий. После прокаливания окраска иногда усиливается. Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Месторождения приурочены к контактам щелочных пород и пегматитов с известняками. Встречается в ассоциации с кальцитом, дионисидом, глауколитом, флогопитом и сульфидами (пиритом, халькопиритом). Применяется как поделочный камень, для приготовления красок. Искусственный продукт в виде ультрамариновой краски используется в промышленности.

Лит.: Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971. В. П. Белichenko.

ЛАЗУРЬ (от араб. лазавард — голубой камень) — синтетическая *минеральная краска*, представляющая собой железную соль железистосинеродистой к-ты. Различают Л. берлинскую (с красноватым оттенком), полученную из соли окиси железа, и Л., известные под названиями: милори (с зеленоватым оттенком), стальная синяя, парижская синяя, бронзовая синяя и др., полученные из соли закиси железа. Цвет (от темно-синего до голубого) и оттенки (от зеленоватого до красновато-фиолетового) Л. зависят гл. обр. от хим. состава, физ. состояния, дисперсности и микроструктуры частиц железной соли. Способность краски к *бронзированию* — от очень сильной до почти незаметной. В глубоких и средних тонах Л. светостойка; в светлых тонах при длительном воздействии яркого света несколько выцветает. Не стойка к действию высокой т-ры. Отличается *влажностойкостью*, *кислотостойкостью*, растворяется в щелочах. Чтобы повысить *щелочестойкость* краски, часть железа (около 20%) заменяют никелем. Гигроскопична. Плотность 1,97 г/см³, маслосъемкость (количество масла, необходимое для получения красочной пасты) 45—50, укрывистость (кроющая способность) 10—20 г/м². Интенсивность (способность придавать свой цвет смесям красок) высокая, в основном цвете лессирует (просвечивает). Получение Л. заключается в осаждении соли двухвалентного железа ферроцианидом калия и в окислении (во избежание образования гидроокиси железа) образовавшегося ферроцианида двухвалентного железа гипохлоритом. Затем ферроцианид промывают, фильтруют и сушат. Л. используют в произ-ве нитрокрасок, масляных и полиграфических красок. Смешивая ее со свинцовыми или цинковыми *кронами*, получают зелени. На милори действует ГОСТ 10960 — 64.

Лит.: Якубович С. В. Испытания лакокрасочных материалов и покрытий. М.—Л., 1952; Белянский Е. Ф., Рискин И. В. Химия и технология пигментов. Л., 1974; Шампетье Г., Рабата Ж. Химия лаков, красок и пигментов, т. 2. Пер. с франц. М., 1962;

Пэй н Г. Ф. Технология органических покрытий, т. 2. Пер. с англ. Л., 1963.

Е. П. Сидоров.

ЛАНТАН (Lanthanum; от греч. *λανθάνω* — скрываюсь, остаюсь незамеченным), La — редкоземельный хим. элемент III группы *периодической системы элементов*; ат. н. 57, ат. м. 138,055. Серебристо-белый металл. В соединениях проявляет степень окисления + 3. Природная смесь состоит из стабильного ^{139}La (99,911%) и радиоактивного ^{138}La (0,089%) изотопов. Изотоп ^{138}La распадается путем K-захвата с периодом полураспада $1 \cdot 10^{11}$ лет. Изотоп ^{139}La образуется при делении урана (6,3% массы всех осколков) и является «реакторным ядом». Получены радиоактивные изотопы с массовыми числами 127—137 и 140—144. Макс. период полураспада ($6 \cdot 10^4$ лет) — у изотопа ^{147}La . Л. открыл в 1839 швед. химик К. Мозандер, доказавший неоднородность открытой ранее «цериевой земли». По распространенности Л. занимает среди *редкоземельных элементов* третье место после *церия* и *неодима*. Содержание Л. в земной коре $1,8 \times 10^{-3}\%$. Л. и остальные элементы *цериевой подгруппы* получают преим. из минералов монацита и бастнезита. В монаците содержится 17% La_2O_3 , в бастнезите 24% La_2O_3 . Кристаллическая решетка Л. при комнатной т-ре гексагональная плотноупакованная (типа альфа-лантан) с периодами $a = 3,770 \pm 0,002\text{Å}$, $c = 12,159 \pm 0,008\text{Å}$ и плотностью $6,162 \text{ г/см}^3$. Имеет три аллотропические модификации. Т-ры превращений: альфа \rightarrow бета $310 \pm 5^\circ\text{C}$, бета \rightarrow гамма 864°C . Бета-лантан имеет гранцентрированную кубическую решетку с периодом $a = 5,304 \pm 0,003\text{Å}$ и плотностью $6,190 \text{ г/см}^3$, гамма-лантан — объемноцентрированную кубическую решетку с периодом $a = 4,26 \pm 0,01\text{Å}$ и плотностью $5,97 \text{ г/см}^3$. Т-ра плавления $920 \pm 5^\circ\text{C}$; т-ра кипения 3470°C . Теплота плавления $1,6 \text{ ккал/г-атом}$; теплота испарения $93,8 \pm 0,9 \text{ ккал/г-атом}$. Атомная теплоемкость (кал/г-

атом \cdot град) альфа-лантана (в интервале т-р $0-310^\circ\text{C}$) $c_p = 6,27 + 2,6 \cdot 10^{-3}t$. Коэфф. теплопроводности альфа-лантана (в интервале т-р $25-30^\circ\text{C}$) $0,033 \pm 0,003 \text{ кал/см} \times \times \text{сек} \cdot \text{град}$. Коэфф. термического расширения альфа-лантана $4,9 \times 10^{-6}$ (т-ра 25°C), бета-лантана $9,6 \cdot 10^{-6}$ (среднее значение в интервале т-р $325-775^\circ\text{C}$). Удельное электрическое сопротивление (ом \cdot см) альфа-лантана $56,8 \cdot 10^{-6}$ (т-ра 25°C), бета-лантана $98 \cdot 10^{-6}$ (т-ра 560°C), гамма-лантана 126×10^{-6} (т-ра 890°C). Температурный коэфф. электр. сопротивления альфа-лантана (т-ра 0°C) $2,18 \times 10^{-3} \text{ град}^{-1}$. Т-ра перехода в сверхпроводящее состояние альфа-лантана $4,90 \pm 10 \text{ К}$, бета-лантана $5,85 \pm 0,11 \text{ К}$. Работа выхода электронов $3,3 \text{ эв}$. Металлы парамагнитны. Поперечное сечение поглощения тепловых нейтронов атомом изотопа ^{139}La составляет 9 барн. При комнатной т-ре модуль норм. упругости 3915, по другим данным 7031—7734 кгс/мм²; модуль сдвига 1518 кгс/мм²; коэфф. Пуассона 0,288. У литого образца (т-ра 20°C) предел текучести $12,8 \text{ кгс/мм}^2$; предел прочности $13,3 \text{ кгс/мм}^2$; относительное удлинение 8%. Твердость Л. по Виккерсу (т-ра 20°C): литого 50, отожженного 37, ковального 120—178 кгс/мм². При комнатной т-ре достаточно чистый Л. поддается ковке и прессованию, но не обладает достаточной вязкостью. Возможно изготовление листов из чистого Л. ковкой при комнатной т-ре. Л., как и другие редкоземельные металлы, обладает большой хим. активностью. В сухом воздухе покрывается окисной пленкой голубоватого цвета, предохраняющей металл от дальнейшего окисления. Во влажном воздухе постепенно превращается в гидрат окиси белого цвета. При т-ре 450°C в среде кислорода Л. воспламеняется. С азотом Л. в раскаленном состоянии образует нитрид белого цвета. При т-ре 240°C в среде водорода образует гидрид черного цвета, однако поглощение водорода металлом происходит и при комнатной т-ре. Л. образует также весьма прочные галогениды, сульфиды, реагирует с большинством др.

хим. элементов. Легко растворяется в соляной, серной и азотной к-тах. Соли Л. белого цвета. Сплавляется со многими металлами. Плавку ведут в инертной среде или в вакууме. Металлический Л. чистотой до 99,48% получают электролитическим способом. В пром-сти наиболее широко распространен электролиз безводного хлорида в расплаве. Металл поставляют в виде слитков трапециoidalной или круглой формы массой 2—5 кг. Лантановый *мишметалл* применяют для улучшения св-в коррозионностойкой, быстрорежущей и жаропрочной стали. Кроме того, Л. служит компонентом алюминиевых и др. легких сплавов. Окись Л. входит в состав керамических *глазурей*, *оптического стекла*, используется в реагентах, утяжеляющих натуральный и искусственный шелк. Изотоп ^{140}La (с периодом полураспада 40,22 ч) — радиоактивный индикатор при изучении процессов разделения Л. и лантаноидов. См. также *Лантаносодержащие сплавы*.

Лит.: Савицкий Е. М. [и др.]. Сплавы редкоземельных металлов. М., 1962; Филянд М. А., Семенов Е. И. Свойства редких элементов (Справочник). М., 1964; Гшнейднер К. А. Сплавы редкоземельных металлов. Пер. с англ. М., 1965; Спеддинг Ф. Х., Даан А. Х. Редкоземельные металлы. Пер. с англ. М., 1965. Ю. И. Буянов.

ЛАНТАНСОДЕРЖАЩИЕ СПЛАВЫ — сплавы, в состав которых входит *лантан*. Осн. Л. с. являются *мишметалл* и *лигатура*, содержащая до 24% La. К такой лигатуре относятся и *силиколантан* марки СИЛАН-1 (50% Si, 10% Al, остальное — лантан и др. редкоземельные металлы). Добавки его в сталь способствуют повышению *прочности* и *коррозионной стойкости*, добавки в *нихром* — удвоению срока эксплуатации. Кроме того, лантан (0,05—0,15%) оказывает рафинирующее и модифицирующее действие на белый *низкокремнистый чугун*. Разработан кобальтовый сплав (0,08% La) со значительным сопротивлением окислению при высоких т-рах. В деформируемых *танталах* сплав лантан (0,1%) тормозит рост зерен при высокой т-ре и повышает т-ру *рекристаллизации*. Высокопрочный ниобиевый сплав марки ВН-4, содержащий лантан и церий, эксплуа-

тируют при т-ре 1250—1300° С. Не утратили своего значения Л. с. и в качестве *пирофорных сплавов*. Лантаны применяют также для легирования легких *магния сплавов*. Магниевый сплав, содержащий до 1% La, используют для изготовления оболочек тепловыделяющих элементов из урана, эксплуатируемых при т-ре порядка 400° С. Литейные магниевые сплавы с добавками лантана отличаются *жаропрочностью* и высокой *жидкотекучестью*, что дает возможность изготавливать из них отливки сложной конфигурации в авиационном. К одним из лучших относится литейный магниевый сплав марки ВМЛЗ (0,6—1,3% La), обладающий высокой коррозионной стойкостью, герметичностью и плотностью, хорошей *свариваемостью* аргоно-дуговой сваркой. Легированные лантаном магниевые сплавы, обладая высоким коэфф. затухания ультразвука, пригодны для изготовления звукопроводов ультразвуковых линий задержки, а также конструкционных материалов для узлов, подвергающихся сильным вибрациям. Добавки *мишметалла*, содержащего до 1% La, в *алюминия сплавы* улучшают прочность на разрыв, *жаростойкость*, сопротивление вибрации и коррозии, не увеличивая *электрическое сопротивление*. Создан катодный материал на основе вольфрама, пропитанного лантанскандиевым сплавом. Сплав лантана (18%) с алюминием (82%) используют в качестве стандартного нейтроноактивного детектора. Для *летателей вакуумных приборов* используют преим. сплав, содержащий 72% La и 28% Al. Этот сплав активно поглощает азот и окись углерода, но мало чувствителен к водороду. Соединение лантана с бором — гексаборид лантана (LaB_6) применяют для изготовления катодов мощных электронных приборов, а также ускорителей заряженных частиц — циклотронов, синхрофазотронов, электронных пучков, в установках для сварки электронным лучом в вакууме, в печах с электронным подогревом. При т-ре 1600 К у гексаборида лантана плотность тока $1,34 \text{ а/см}^2$.

эффективная работа выхода электронов 2,71 эв, а при t -ре 1800 К соответственно 7,15 а/см² и 2,85 эв. Сплавы гексаборида лантана с вольфрамом и титаном (до 10 мол. %) обладают в два раза большей эмиссией при тех же стойкости к отравлению и долговечности. Изделия из сплавов лантан — бор получают, как правило, методом порошковой металлургии, иногда с применением горячего прессования. Разработана также технология получения плавленных гексаборидов лантана. Представляют интерес сплавы, содержащие лантан, как *сверхпроводящие материалы*. Перспективны Л. с. на основе LaNi_5 в качестве аккумуляторов водорода, применение которого как топлива для двигателей внутреннего сгорания. Этим сплавам присуще явление гистерезиса по водороду. Наводороживание наблюдается при комнатной t -ре и повышенном давлении (50—60 ат), при этом достигается предельный состав LaNi_5H_7 , а отдача водорода происходит при снижении давления.

Лит.: Савицкий Е. М. [и др.]. Сплавы редкоземельных металлов. М., 1962; Вопросы теории и применения редкоземельных металлов. М., 1964; Редкоземельные металлы и сплавы. М., 1971; Физико-химия редких металлов. М., 1972; Редкоземельные металлы, сплавы и соединения. М., 1973; Савицкий Е. М., Терехова В. Ф. Металловедение редкоземельных металлов. М., 1975.

С. В. Мучник.

ЛАТУНИРОВАНИЕ — нанесение на поверхность металлических изделий слоя латуни. Л. повышает коррозионную стойкость изделий, ад-

гезию с резиной, улучшает антифрикционные св-ва, придает изделиям декоративный вид. Толщина латунных покрытий составляет несколько микрон. Л. проводят гальваническим и металлургическим способами. При гальваническом способе Л. осуществляют осаждением из цианистых электролитов примерного состава (в г/л): CuCN — 27; Zn(CN)_2 — 35; NaCN — 105; Na_2CO_3 — 35; NaOH — 4. В качестве анода используют латунь марки Л63; плотность тока 0,3 а/дм²; выход по току 70 ÷ 80%, t -ра ванны 30—40° С. Скорость осаждения латуни невысока — 1 мкм за 5—6 мин. Более производителен металлургический способ, связанный с расплавлением латуни и спец. обработкой изделия. Производство по этому способу, напр., стальной латунированной проволоки, отличающейся высокой адгезией с резиной, начинается в шамотографитовых изложницах, где стальные протравленные сердечники (диаметром 90 и длиной 900 мм), нагретые до t -ры 970 ÷ 1000° С, заливают расплавленной латунью марки Л68 при t -ре 1120—1160° С. Затем биметаллические слитки диаметром 120 мм прокатывают в калибровочных валах при t -ре 820—830° С, после чего проволоку подвергают волочению и технологической термообработке по режиму *патентирования* стали. Вследствие термообработки в поверхностном слое образуются крупные зерна альфа-латуни, а сердечник приобре-

Микршлиф латунированной медной проволоки диаметром 0,32 мм, $\times 1200$.

ает структуру, состоящую из сорбита и участков феррита. После сортовой прокатки поперечное сечение сердечника не остается круглым, поэтому латунь распределяется по нему неравномерно, зачастую образуются толстые слои покрытия, в то время как для адгезии проволоки с резиной достаточен слой латуни толщиной $1 \div 3$ мкм. В связи с этим наило применение гальваническое меднение стальной проволоки с последующим нанесением слоя цинка. Термообработка такой проволоки приводит вследствие взаимной диффузии меди и цинка к образованию сплава типа альфа-латуни (соотношение цинка и меди в покрытии $1 : 3$). Меднение и цинкование осуществляют на проволоке диаметром около $0,8-1,0$ мм, причем слой латуни образуется между медью и цинком уже при t -ре $250-400^\circ \text{C}$. Поскольку коэфф. диффузии цинка в медь значительно выше, чем меди в цинк, во избежание разрыва медной оболочке на стальную проволоку сначала наносят слой меди, а затем слой цинка. Л. медной проволоки (рис.) осуществляют нанесением (тем или иным способом) на ее поверхность слоя цинка и дальнейшей термообработкой. Проволоку с таким покрытием можно хорошо паять, но все же оно уступает серебряному. Вследствие этого получило применение комбинированное покрытие — латунное с тончайшим слоем серебра. Л. используют для создания промежуточного подслоя при никелировании и лужении стальных изделий, для повышения антифрикционных св-в изделий из титана и его сплавов. Латунированной стальной проволокой заменяют латунную в сеточном производстве.

Лит.: Ейльман Л. С., Королев В. И., Цесарский В. М. Проводниковые материалы для кабелей и проводов. М., 1966; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974.

Л. С. Ейльман.

ЛАТУННЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы латуни различной формы. Промышленное производство Л. п. началось (1939) в Англии и США. Содержание цинка в порошке в зависимости от исходного состава материала и способа получения $10-40\%$. Л. п. получают распылением

жидкой латуни, диффузионным отжигом смеси медного порошка и цинкового порошка, а также механическим измельчением литой латуни. В зависимости от способа получения частицы порошка соответственно имеют форму: сферическую с гладкой поверхностью, равноосную с шероховатой поверхностью и осколочную. Размер частиц $2 \div 100$ мкм. Возможно также получение Л. п., легированных алюминием, никелем и др. элементами. Спец. обработкой частицам порошка можно придать чешуйчатую (лепестковую) форму. Порошки со сферической, равноосной и осколочной формой частиц служат исходным материалом для изготовления изделий методом порошковой металлургии: вначале порошок спрессовывают в брикет окончательной конфигурации, затем брикет спекают в защитной среде и повторно обжимают — калибруют. Плотность полученного материала $80-90\%$ от теоретической, прочность на растяжение $20-25 \text{ кгс/мм}^2$, удлинение до 17% , электросопротивление $0,08 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Изделия сложной формы из Л. п. применяют в электротехнической пром-сти, машино- и приборостроении. Порошки с чешуйчатой формой частиц ($72-90\% \text{ Cu}$, $1,2\% \text{ Al}$, остальное — цинк) используют для приготовления красок.

Лит.: Баскаков Б., Фадеев Ю. Промышленное изготовление электрохимических латунных деталей. «Электротехническая промышленность», 1971, в. 7; Терлецкий В. Е., Бронин С. В., Эпштейн М. Ю. Исследование условий получения порошков латуни и процессов спекания изделий из них. «Труды Всесоюзного научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электромашиностроения», 1974, в. 11.

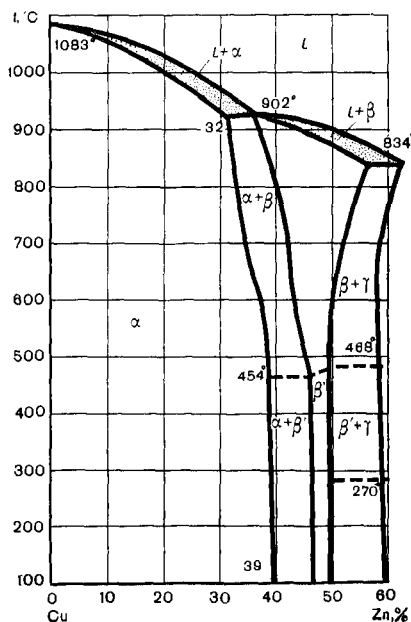
В. Е. Терлецкий.

ЛАТУНЬ (нем. Latun) — медноцинковый сплав, содержащий до $50\% \text{ Zn}$. Самый распространенный меди сплав. Л. известна с древних времен. Л., состоящие только из меди и цинка, наз. двойными, или простыми; Л., содержащие, кроме меди и цинка, другие хим. элементы, — многокомпонентные, или специальные. Двойные Л. с $3-12\% \text{ Zn}$ наз. томпаками, с $14-21\% \text{ Zn}$ — полутомпаками. Маркируют сплавы

буквой Л, затем — начальными буквами легирующих элементов в порядке убывания их процентного содержания. После букв следует цифра, обозначающая среднее процентное содержание меди в сплаве, затем цифры, обозначающие среднее процентное содержание легирующих элементов (напр., марка ЛАН59-3-2 означает: латунь алюминийевоникелевая, содержащая 57—60% Cu; 2,5—3,5% Al; 2—3% Ni; остальное — цинк). Л., легированная алюминием, наз. *алюминиевой латуной*, никелем — *никелевой латуной* и т. д. По способу обработки Л. подразделяют на *деформируемые латуни* (подлежащие обработке давлением) и *литейные латуни* (с хорошими литейными свойствами). Л. отличаются хорошими мех. св-вами, высокими коррозионной стойкостью, пластичностью при достаточной прочности, жидкотекучестью, не склонны к ликвации, мало подвержены окислению, диамагнитны. Легируют Л. алюминием, кремнием, марганцем, никелем, оловом и свинцом. Отрицательно влияют на св-ва и структуру сплава висмут, мышьяк, сера, сурьма и фосфор. Л., содержащие до 39% Zn, являются однофазными (альфа-латунями), содержащие 39—45% Zn — двухфазными (альфа + бета-латунями) (рис.). У альфа-латуни гранецентрированная кубическая решетка с периодом, изменяющимся в зависимости от содержания цинка. Решетка бета-фазы — объемноцентрированная кубическая, ее период также зависит от содержания цинка. С появлением и увеличением количества бета-фазы уменьшается пластичность, а в бета-области — и прочность сплава. Л. — характерные сплавы, образующие хим. соединения (*металлиды*) с электронным типом связи. Эти соединения могут образовывать твердые растворы с широкими областями гомогенности. Получение Л. прямым сплавлением меди и цинка затруднено из-за большой разницы т-р плавления этих металлов и большой упругости паров жидкого цинка, вследствие чего прибегают к использованию *лигатур*. В процессе го-

рячей обработки давлением однофазные Л. обладают хорошей пластичностью при т-ре выше 700° С, а двухфазные — при т-ре выше 500° С. Л., содержащие более 20% Zn, склонны к коррозионному растрескиванию, для предупреждения к-рого изделия подвергают низкотемпературному *отжигу* при т-ре 250—300° С. Высокая пластичность однофазных Л., содержащих до 30% Zn, при т-ре ниже 300° С определяет возможность изготовления из них тонких листов, лент и проволоки. Допустимое суммарное обжатие между промежуточными смягчающими отжигами однофазных Л. достигает 95%. Полуфабрикаты Л. в виде листов, лент, полос и проволоки поставляют в отожженном состоянии (мягкие сплавы) и после холодного деформирования (твердые, особо твердые сплавы). Л. применяют в машиностроении, в автомобильной и часовой пром-сти, в приборостроении, для изготовления знаков и художественных изделий. Хим. состав и св-ва Л. приведены в ГОСТах 931—70, 2060—73, 2208—70, 15527—70, 17711—72. См. также *Латунирование*.

Диаграмма состояния латуни.



Г. К. Львов.

ЛЕГИРОВАНИЕ (нем. legieren — сплавлять, от лат. ligo — связываю, соединяю) — введение в металлы и сплавы *легирующих материалов* для получения сплавов заданного хим. состава и структуры с требуемыми физ., хим. и мех. св-вами. Применялось еще в глубокой древности, в России — с 30-х гг. 19 в. Л. осуществляют введением легирующих материалов (в виде металлов и металлоидов в свободном состоянии, в виде различных сплавов, напр. *ферросплавов*, или в газообразном состоянии) в шихту или в жидкий (при выплавке) сплав. Иногда добавки легирующих материалов вводят в ковш. В закристаллизовавшемся сплаве легирующие материалы распределяются в *твердом растворе* и др. фазах структуры, изменяя его прочность, вязкость и пластичность, повышая *износостойкость*, увеличивая глубину *прокаливаемости* и др. технологические св-ва. Л. существенно влияет на положение *критических точек* стали. Никель, марганец, медь и азот расширяют по температурной шкале область существования *аустенита*, причем при известных соотношениях содержания углерода и этих элементов аустенит существует в области т-ры от комнатной и ниже до т-ры плавления. Хром, кремний, вольфрам и др. элементы сужают эту область и при определенных концентрациях углерода и легирующего элемента расширяют область существования *альфа-железа* (см. *Железо*) до т-ры плавления. При некоторых концентрациях углерода и легирующего материала сталь даже после медленного охлаждения имеет структуру *закалки*. Легирующие материалы, ве образующие *карбидов* (напр., никель, кремний и медь), находятся в твердых растворах, карбидообразующие материалы (хром, марганец, молибден, вольфрам и др.) частично растворяются в железе, однако в основном входят в состав карбидной фазы и при больших концентрациях сами образуют карбиды (напр.,

Cr_{23}C_6 , Mn_3C). Большинство легирующих материалов, растворяясь в аустените и *мартенсите* при закалке, значительно повышают стойкость их против *отпуска* и, следовательно, прочность стали. Кроме того, Л. увеличивает ее прокаливаемость. В результате Л. отпадает необходимость в больших скоростях охлаждения при закалке; сталь хорошо закаливается в слабо охлаждающих средах (масле, расплавленных солях), что снижает *коробление* изделий. При повышенном содержании некоторых легирующих материалов образуются их хим. соединения с осн. металлом — *металлиды*. Л. позволяет создавать *конструкционные стали*, *жаропрочные стали*, *жаростойкие стали*, *быстрорежущие стали*, *коррозионностойкие стали*, *мартенситностареющие стали* и др. Под влиянием Л. уменьшается охрупчивание сплава неметаллическими фазами (см. *Шлаковые включения* в металлах). Л. влияет на формирование зеренной и тонкой кристаллической структуры сплава, при этом часто уменьшаются размеры блоков (фрагментов), изменяется уровень статических и динамических искажений решетки осн. металла, уменьшаются размеры микрзерна и структурных единиц в изломе. Кроме стали, Л. подвергают сплавы на основе меди, алюминия, хрома, титана, тугоплавких металлов и др. Различают Л. объемное и поверхностное, а также комплексное (одновременно четырьмя и более легирующими материалами). При комплексном Л. происходит сложное взаимодействие между атомами осн. металла и атомами легирующих материалов, что усиливает тот или иной эффект, вызываемый легирующим материалом, либо ослабляет его. Так, при введении в аустенитную хромоникелевую сталь вольфрама *жаропрочность* возрастает в два-три раза, а при добавлении вольфрама, титана и др. материалов совместно она возрастает в 10 раз. Если удельная прочность *нелегированной углеродистой стали* составляет $7 \text{ (кгс/мм}^2\text{)}/\text{(г/см}^3\text{)}$, легированной хромом, марганцем и кремнием (по 1%

каждого) — $12 \text{ (кгс/мм}^2\text{)/(г/см}^3\text{)}$, то у комплекснолегирован. сталей она возрастает в два-три раза. Упрочнение сплава вызывается группами атомов легирующих материалов, сконцентрированных в нек-рых местах кристаллической решетки осн. металла. Комплексное Л. существенно влияет на дислокационную структуру сплава, затрудняя движение *дислокаций*. Особенно эффективно влияние на повышение прочностных свойств стали Л. одновременно сильными карбидообразующими и некарбидообразующими элементами. Для повышения *электропроводности* полупроводников применяют и о н н о е Л., заключающееся во введении атомов внутрь твердого материала, бомбардируя его поверхность ионами. Следующий за этим *отжиг* проводят для устранения образовавшихся *дефектов в кристаллах*, а также для того, чтобы внедренные ионы заняли определенное место в узлах кристаллической решетки. Ионное Л. позволяет вводить в *полупроводниковые материалы* точно дозированное количество почти всех хим. элементов, управляя распределением ионов по глубине (изменением энергии ионов, интенсивности и направления ионного пучка относительно кристаллографических осей). Л.— важное средство придания металлическим сплавам необходимых физ., хим. и мех. свойств. См. также *Микролегирование*.

Лит.: Корнилов И. И. Физико-химические основы жаропрочности сплавов. М., 1961; Меськин В. С. Основы легирования стали. М., 1964; Браун М. П. Комплекснолегированные конструкционные стали. К., 1965; Крещановский Н. С., Сидоренко М. Ф. Модифицирование стали. М., 1970; Гудремон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966.

М. П. Браун.

ЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ — сталь, подвергнутая *легированию*. В пром. масштабах используется с конца 19 в. *Легировующие материалы* могут находиться в стали в *твердом растворе* и в виде вторых фаз: *спец. карбидов*, растворенных в *цементите*, интерметаллидов, *окислов*, *сульфидов* и *нитридов*. Один и тот же легирующий элемент оказывает раз-

личное влияние на св-ва стали. Так, марганец в *конструкционных сталях* увеличивает *прокаливаемость*, в *инструментальных сталях* ухудшает качество вследствие повышения склонности к росту зерна при нагреве под *закалку*, в *аустенитных нержавеющей сталях* и *жаропрочных сталях* способствует стабилизации *аустенита* и повышению его *прочности*. Хром в конструктивных и инструментальных сталях повышает *прокаливаемость*, в *нержавеющих сталях* — *коррозионную стойкость* (при содержании минимум 12%), *жаростойкость* и др. Вольфрам и молибден в конструкционных сталях уменьшают склонность к обратной отпускной *хрупкости*, а в *быстро-режущих сталях* определяют (особенно вольфрам) *теплостойкость*. Сталь наз. легированной, если в ней содержится марганец ($> 0,8\%$), кремний ($> 0,5\%$), хром ($> 0,3\%$), никель ($> 0,3\%$), медь ($> 0,25\%$), вольфрам ($> 0,2\%$), кобальт ($> 0,2\%$), алюминий ($> 0,1\%$), молибден ($> 0,05\%$), титан ($> 0,05\%$), ванадий ($> 0,05\%$), ниобий ($> 0,05\%$) и бор ($> 0,001\%$). Суммарное содержание легирующих элементов в стали не превышает 50%. Л. с. подразделяют на низколегированную (легированных элементов до 2,5%), среднелегированную (от 2,5 до 10%) и высоколегированную (свыше 10%) (табл.). В зависимости от наличия тех или иных легирующих элементов различают *марганцовистую сталь*, *кремнистую сталь*, *хромистую сталь*, *никелевую сталь*, *молибденовую сталь*, *ванадиевую сталь*, *вольфрамовую сталь*, а также *хромоникелевую*, *марганцовокремнистую*, *хромоникельмолибденовую*, *хромоникельмолибденованадиевую* и др. При наличии в стали четырех-пяти и более легирующих элементов ее называют *сложнолегированной*. Если в сталь вводят легирующие элементы, обуславливающие существенное изменение св-в, в меньшем количестве (напр., $< 0,05\% \text{ V}$; $< 0,05\% \text{ Nb}$; $< 0,05\% \text{ Ti}$; $< 0,1\% \text{ Al}$), такую сталь наз. *микролегированной*. Сплав, в к-рый при выплавке (чаще всего в процессе раскисления) введены элементы, оказывающие существенное влияние на *кристаллизацию* и очищение от вредных

примесей (серы, фосфора, азота, водорода и др.), наз. *модифицированной сталью*. Эффективными модифицирующими материалами являются комплексно введенные в сталь алюминий и силикокальций; алюминий, кальций и церий; смеси редкоземельных металлов (*мишметалл*). Добавление селена, теллура, серы и особенно свинца (0,15—0,30%), не улучшая мех. св-в, повышает обрабатываемость Л. с. на ме-

таллорежущих станках (облегчается снятие стружки и улучшается качество поверхности изделий). Широко распространены стали с добавками свинца, отличающиеся повышенной обрабатываемостью. В зависимости от основных св-в, определяющих область применения, Л. с. подразделяют на конструкционные,

Назначение, степень легирования, химический состав и термическая обработка легированных сталей

Марка стали	Назначение	Степень легирования	Содержание элементов, %						Термическая обработка
			C	V	Cr	Mo	Ti	Прочие	
Конструкционные стали									
09Г2	Строительная	Низколегированная	0,09	—	—	—	—	1,6Mn	Горячекатаное состояние или нормализация
15ГФ	»	»	0,15	0,05	—	—	—	1,0Mn	То же
30ХРА	Машиностроительная	Среднелегированная	0,3	—	1,15	—	—	0,003В	Нормализация
40ХФА	»	»	0,4	0,15	1,0	—	—	—	Закалка, отпуск
18Х2Н4МА	»	»	0,18	—	1,5	0,35	—	4,2Ni	Цементация, закалка, отпуск
38Х2МЮА	»	»	0,38	—	1,5	0,20	—	0,9 Al	Закалка, отпуск, азотирование
08Фкп	Для глубокой вытяжки	Микролегированная	≤ 0,08	0,03	—	—	—	—	Отжиг
08Ю	То же	»	≤ 0,08	—	—	—	—	0,05Al	»
55С2	Рессорно-пружинная	Низколегированная	0,55	—	—	—	—	1,7 Si	Закалка, отпуск
50ХФА	»	»	0,50	0,15	1,0	—	—	—	То же
Инструментальные стали									
Ф	Для режущего инструмента	Низколегированная	1,0	0,3	—	—	—	—	Закалка, отпуск
9Х5Ф	То же	Среднелегированная	0,9	0,25	5,0	—	—	—	То же
8Х4В4Ф1	»	Высоколегированная	0,8	1,2	4,5	—	—	4,5W	»
Р9Ф5	Быстрорежущая	»	1,35	4,7	4,1	—	—	9,5W	Закалка, трехкратный отпуск
Стали с особыми физическими и химическими свойствами									
12Х1МФ	Теплостойкая	Низколегированная	0,12	0,2	1,1	0,3	—	—	Нормализация, отпуск
08Х13	Коррозионно-стойкая	Высоколегированная	≤ 0,08	—	13,0	—	—	—	Отжиг или закалка, отпуск
15Х25Т	»	»	≤ 0,15	—	25,0	—	0,7	—	То же
12Х18Н9Т	»	»	≤ 0,12	—	18,0	—	0,5	9,0Ni	Закалка

инструментальные и стали с особыми физ. и хим. св-вами (напр., нержавеющие, жаропрочные, жаростойкие, *теплостойкие стали*, магнитно-мягкие, магнитно-твердые), по назначению — на *строительные стали*, машиностроительные, котельные, *рельсовые стали*, *подшипниковые стали*, рессорно-пружинные, быстрорежущие, *штамповые стали*. В зависимости от структуры различают Л. с. аустенитные, аустенито-ферритные, перлитные (см. *Перлит* в металлведении), мартенситные (см. *Мартенсит*), ферритные (см. *Феррит*), феррито-перлитные и др. В СССР Л. с. обозначают буквенно-цифровыми индексами. Каждый легирующий элемент в марке стали обозначается определенной буквой: А — азот, Б — ниобий, В — вольфрам, Г — марганец, Д — медь, К — кобальт, М — молибден, Н — никель, Р — бор, С — кремний, Т — титан, Ф — ванадий, Х — хром, Ц — цирконий, Ю — алюминий. Цифры в начале марки обозначают ср. содержание углерода в десятых или сотых долях процента. Цифры после буквы показывают примерное количество того или иного элемента, округленное до целого числа. При содержании легирующего элемента до 1% или около 1% (напр., 0,6% или 1,2%) цифры не приводят. Так, сталь, содержащая 0,42—0,50% С; 0,5—0,8% Mn; 0,8—1,0% Cr; 1,3—1,8% Ni; 0,2—0,3% Mo и 0,10—0,18% V, обозначается маркой 45ХН2МФ. Буква А в конце марки указывает, что сталь высококачественная (30ХГСА), в середине марки — наличие азота (15Г2АФ), в начале — *автоматная сталь* повышенной обрабатываемости (А40Г). В особо высококачественных сталях (с низким содержанием серы, фосфора и др. примесей) в конце марки ставится буква Ш (40ХН-Ш — сталь электрошлакового переплава). Цифра перед маркой легированных инструментальных сталей (напр., перед марками 9Х5Ф и 8Х4В4Ф1) показывает содержание углерода в десятых долях процента, а если его содержится более 1%, цифру вообще не ставят. В марках быстроре-

жущих сталей (напр., в марке Р9Ф5) в начале приводят букву Р, за ней следует цифра, указывающая содержание вольфрама. Во всех быстрорежущих сталях содержится около 4% Сг, поэтому в обозначении марки буквы Х нет. Ванадий (1—5%) также содержится во всех быстрорежущих сталях и обозначается в марке при содержании 2% и более. Сложнолегированные стали (в частности, *коррозионностойкая сталь*, *жаростойкая сталь*, *сталь жаропрочная*) часто обозначают упрощенно — по порядковому номеру разработки и освоения стали на металлургическом заводе (напр., марка ЭИ-481 вместо 37Х12Н8Г8МФБ и марка ЭП126 вместо ХН28ВМАБ). Практически легирующие элементы оказывают наибольшее влияние на св-ва Л. с. только после *термической обработки*. Из конструкционных Л. с. изготавливают детали машин, механизмов и конструкций (оси, валы, шестерни, болты, зубчатые колеса, пружины); из инструментальных Л. с. — резцы, фрезы, сверла, штампы, измерительный инструмент. Л. с. с особыми физ. и хим. св-вами используют для изготовления клапанов двигателей внутреннего сгорания, лопаток паровых и газовых турбин, хим. аппаратуры и др. изделий. См. также *Природнолегированная сталь*.

Лит.: Месъкин В. С. Основы легирования стали. М., 1964; Гуляев А. П. Металловедение. М., 1966; Гудремон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966.

М. И. Гольдштейн.

ЛЕГИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, подвергнутые *легированию*. В пром. масштабах используют с 70-х гг. 19 в. (США). К Л. м. относятся легированная сталь, легированный чугун и легированные цветные металлы и сплавы. Сталь, содержащая до 2,5% *легирующих материалов*, наз. низколегированной, 2,5 ÷ 10% — среднелегированной, 10% и более — высоколегированной. Целесообразность пром. применения того или иного класса легированных сталей определяется особенностью структуры и соответственно физ., хим., мех. и технологическими свойствами (см. также *Легированная сталь*). Конструкционную легированную сталь в за-

сисмости от содержания легирующе-щих элементов подразделяют на низко- и среднелегированную (легированную). Низколегированная сталь применяется в основном в виде проката как строительный материал, обладающий относительно высокими мех. свойствами без дополнительной термобработки, хорошей *свариваемостью*, повышенной *коррозионной стойкостью* и др. Кроме того, ее используют в горячекатаном состоянии или после соответствующей термобработки для изготовления различных деталей, трубопроводов и аппаратов, эксплуатируемых при t -рах до 450°C , и сварных конструкций в машиностроении. Конструкционная легированная сталь применяется в машиностроении для произ-ва изделий, испытывающих при эксплуатации как статические, так и динамические нагрузки. Благодаря большому содержанию легирующих элементов такая сталь обладает повышенной мех. прочностью, что обеспечивается упрочнением феррита, высокой *прокаливаемостью* и др. (см. также *Конструкционная сталь*). Инструментальная сталь обладает в результате термической обработки высокой мех. прочностью, *твердостью* и *износостойкостью*, необходимыми для обработки материалов резанием или давлением, а также для изготовления деталей машин, допускающих повышенный износ при незначительных динамических нагрузках (шарики- и роликоподшипников, ходовых винтов в станках и др.) (см. также *Инструментальная сталь*). У легированного чугуна различные особенности и формы структурных составляющих, что придает ему либо значительную прочность (см. *Высокопрочный чугун с шаровидным графитом*), либо особые физ. или хим. свойства (износостойкость, неагрессивность, *кислотостойкость*, *жаропрочность* и др.). Различают чугун низколегированный (легирующих элементов до 3%), среднелегированный (3—10%) и высоколегированный (свыше 10%). Применяют легированный чугун никелевый (2—5% Ni), хромистый (26—36% Cr), молибденовый (0,3—1% Mo), медистый (2—2,5% Cu), ванадиевый (0,03—0,15% V), титановый, или

карботитан (ок. 0,7% Ti), алюминиевый (наиболее распространенный — *чугаль*), высококремнистый (см. *Силал*), высокомарганцевый (7—12% Mn), хромоникелевый (0,2—1,5% Cr, 0,2—4% Ni), никельмолибденовый (1,5—3,5% Ni, 0,7—0,9% Mo), кремнемолибденовый, или антихлор (14—16% Si, 3,5—4% Mo), хромоникельмедистый, или *нирезист*, хромоникелькремнистый *чугун*, или *нихросил* (5—7% Si, 18—20% Ni, 2—3% Cr, 1,8—2% C, 0,8—1% Mn) (см. также *Легированный чугун*). Легированные цветные металлы и сплавы также отличаются повышенными физ.-хим. и мех. свойствами. Так, алюминий, легированный медью, марганцем и др., значительно превосходит по прочности и твердости чистый алюминий. Таким же качеством обладают сплавы магния с алюминием и цинком, дополнительно содержащие марганец, а иногда титан, цирконий, литий, редкоземельные металлы и барий. В медных сплавах осн. легирующими элементами являются олово, свинец, алюминий, марганец, железо и никель. Кобальтовые сплавы, содержащие молибден, вольфрам, хром и др., обладают более высокой *пластичностью*, *жаропрочностью* и т. д. по сравнению с чистым кобальтом, что подчас делает их незаменимыми материалами. Осн. способ получения Л. м. — введение легирующих элементов в расплав. Метод введения выбирают в зависимости от особенностей воздействия легирующего элемента на осн. сплав и от технологических особенностей плавки (агрегат, масса выплавляемого сплава, условия разливки и т. д.). Другой способ получения Л. м. — при помощи *пихтовых материалов*, в состав к-рых входят легирующие элементы. Такие Л. м. наз. *природнолегированными* (см. *Природнолегированная сталь*, *Природнолегированный чугун*). Легированную сталь выплавляют в конверторах, марленовских, дуговых и индукционных печах. Стали особого назначения, от к-рых требуется высокая надежность, получают вакуумно-дуговым методом, вакуумированием,

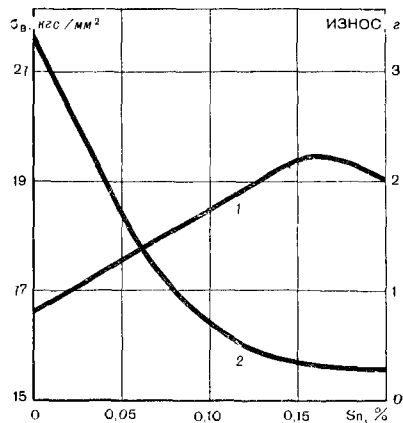
вакуумно-индукционным и электроплавковым переплавом, а также плазменной и электроннолучевой плавкой. Легированный чугун выплавляют в основном в вагранках, дуговых и индукционных (тигельных, канальных) печах, а также дуплекс-процессом (вагранка — электр. печь или дуговая электр. печь — индукционная печь). Цветные сплавы, напр. *алюминия сплавы*, производят в тигельных печах, отражательных пламенных печах ванного типа, печах сопротивления и индукционных. При получении *магния сплавов* в зависимости от масштабов произ-ва применяют плавку в стационарных или выемных тиглях, комбинированным способом и т. д. *Никеля сплавы* и *кобальта сплавы* выплавляют в вакуумно-дуговых и вакуумно-индукционных, в плазменных и электроннолучевых печах. Область применения Л. м. все более расширяется (особенно низколегированной стали) ввиду их высоких мех. и эксплуатационных св-в при сравнительно небольших затратах на легирование. Применение Л. м. снижает себестоимость изделий вследствие экономии металла и сокращения количества технологических операций на его обработку. Совершенствование техники связано с непрерывным повышением требований к материалам — в отношении износостойкости, прочности, электропроводности, жаропрочности и др. — в зависимости от отрасли их применения. Так, для судостроения необходимы стали и сплавы с хорошей свариваемостью и высокой коррозионной стойкостью, а для хим. машиностроения — с высокой и длительной стойкостью к агрессивным средам.

Лит.: Алексеев С. А. [и др.]. Справочник литейщика. М., 1962; Гольдштейн Я. Е. Низколегированные стали в машиностроении. М., 1963; Материалы в машиностроении. Справочник, т. 1—2. М., 1967; Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. М., 1969; Марочник стали для машиностроения. М., 1969; Цветные металлы. Свойства. Сортамент. Применение. М., 1973; Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали. Справочник. М., 1975.

С. Н. Примеров, А. И. Чернявский.

ЛЕГИРОВАННЫЙ ЧУГУН — чугун, подвергнутый легированию. В пром. масштабах используется с 20-х гг. 20 в. Отличается улучшенными св-вами, а также особыми св-вами (напр., износостойкостью, жаропрочностью, жаростойкостью, коррозионной стойкостью), обусловленными влиянием легирующих элементов на кристаллизацию, в частности на графитизацию и образование новых структур. При кристаллизации одни элементы (кремний, цирконий, кобальт, никель, медь, а также титан и алюминий в малых к-вах) ускоряют графитизацию, другие (марганец, вольфрам, ванадий, молибден, хром и теллур) замедляют ее. Кобальт, никель, алюминий и медь образуют с железом твердые растворы, титан, ниобий и цирконий способствуют образованию карбидной фазы, а хром, молибден, вольфрам и ванадий входят как в карбидную фазу, так и в твердый раствор. Подбором соответствующих легирующих элементов получают чугуны разнообразных структур и св-в, к-рые дополнительно улучшают модифицированием и термической обработкой. Форма включений свободного углерода в таких чугунах изменяется от пластичной (см. *Серый чугун*) до хлопьевидной (см. *Ковкий чугун*) и шаровидной (см. *Высокопрочный чугун с шаровидным графитом*). Структура метал-

Зависимость прочности (1) и износа (2) микролегированного чугуна от содержания олова.



лич. основы может состоять из *аустенита, мартенсита, сорбита, троостита, перлита и феррита* либо из их сочетаний. Структура и св-ва Л. ч. зависят также от количества легирующих элементов, вводимых с шихтой или присаживаемых в жидкий расплав (печное и внепечное легирование). Л. ч. подразделяют на микролегированные (микродозы легирующих элементов), низколегированные (легирующих элементов до 3%), среднелегированные (от 3 до 10%) и высоколегированные (сумма легирующих элементов превышает 10%). Микролегирован-

ные чугуны используют в качестве конструкционных материалов, св-ва к-рых улучшают добавлением олова (рис.), сурьмы, бора и др. Низколегированные чугуны используют в основном как конструкционные материалы с улучшенными мех. св-вами. Они характеризуются дисперсно-перлитной, сорбитной или трооститосорбитной структурой металлической основы и раздробленными, мелкими и завершенными или шаровидными включениями графита. В автомобиле-, дизеле- и станкостроении применяется хромоникелевый чугун, содержащий 0,2—0,5% Cr и до 1,75% Ni. Среднелегированные чугуны (с карбидообразующими легирующими элементами) отличаются высокой износостойкостью. Их металлическая основа преим. мартенситная. Из таких чугунов изготовляют литые детали, эксплуатируемые в тяжелых условиях трения или ударноабразивного воздействия как при нормальной, так и

Таблица 1. Химический состав легированных (износостойких) чугунов

Марка чугуна	Содержание легирующих элементов, %			
	Cr	Ni	Mo	Mn
ИЧХ15МЗ	12—28	—	2,0—4,0	0,5—0,9
ИЧХ28П2	28—30	1,5—3,0	—	0,5—0,8
ИЧХ28НГМ2	23—30	1,5—3,0	1,8—2,2	0,4—1,0
ИЧХ17Н5Г3	17—20	2,0—4,0	—	2,2—3,2

Таблица 2. Химический состав легированных (антифрикционных) чугунов

Марка чугуна	Содержание легирующих элементов, %				
	Cr	Ni	Ti	Cu	Mg
АЧС-2	0,2—0,4	0,2—0,4	0,03—0,1	0,3—0,5	—
АЧВ-1	—	—	—	До 0,7	Не менее 0,03
АЧК-1	—	—	—	1,0—1,5	—

Таблица 3. Химический состав легированных (коррозионностойких) чугунов

Чугун	Содержание легирующих элементов, %					
	Si	Mn	Ni	Cu	Cr	Mo
Ферросилид	14,5—16,0	0,3—0,8	—	—	—	—
Силэкс	14,5—18,0	0,3—0,8	—	—	—	—
Хромэкс (185ХЗЧЛ)	1,3—1,7	0,5—0,8	—	—	32—36	—
Нирезист (ЧН15Д7Х2)	1,5—3,0	0,5—1,2	14—17	6,0—8,0	1,5—3,0	—
Нихросилал	5,0—7,0	0,5—1,0	16—20	—	1,8—5,0	—
ЧН1ХМД	1,6—2,0	0,9—1,2	0,7—1,5	0,2—0,5	0,2—0,6	0,3—0,6
ЧН15Д3ХШ	2,0—2,5	1,3—1,8	14—17	3,0—3,5	0,2—0,6	—

при повышенной т-ре. Высоколегированные чугуны обладают высокими спец. св-вами (физическими и химическими). Их металлическая основа преим. ферритная или аустенитная. Из них изготавливают детали, эксплуатируемые в агрессивных средах, при высокой т-ре, в тяжелых условиях воздействия сред и нагрузок. Различают Л. ч. конструкционные, износостойкие, антифрикционные, коррозионностойкие, жаропрочные, жаростойкие, немагнитные и др. Конструкционные чугуны относятся к низколегированным (главным образом, хромом, никелем, молибденом и медью).

Их мех. св-ва улучшают нормализацией, закалкой и отпуском. Из таких чугунов изготавливают блоки цилиндров, станины, поршневые кольца, гильзы, поршни, коленчатые и распределительные валы, головки различных двигателей, корпуса, штампы. К износостойким (табл. 1 на с. 687) относятся средне- и высоколегированные (хромом, никелем, молибденом) чугуны, характеризующиеся мартенситной структурой и твердыми карбидами. Эти чугуны идут на изготовление деталей, эксплуатируемых при интенсивном абразивном изнашивании. Для получения необходимой структуры и св-в чугуны иногда подвергают закалке, обработке холодом (см. *Холодом обработка металлов*). Распространен износостойкий чугун *нигард* (см. также *Износостойкий чугун*).

Антифрикционные чугуны относятся к низколегированным. Кроме высокой износостойкости, они отличаются небольшим коэфф. трения, высокой *теплопроводностью*, хорошей обрабатываемостью, прирабатываемостью, сопротивлением задирам. Такие св-ва обуславливаются наличием в структуре мягкой основы (перлита, феррита) и сфероидальных карбидов или фосфидной *зеттектики*. Различают серые (марки АЧС), ковкие (марки АЧК) и высокопрочные (марки АЧВ) антифрикционные чугуны (табл. 2). Их легируют хромом (до 0,4%), никелем (до 0,4%), титаном (до 0,1%), медью (0,3—1,5%), сурь-

мой (0,25—0,4%), свинцом (0,5—1,0%), алюминием (0,4—0,8%) и фосфором (0,5—1,0%). Из антифрикционных чугунов изготавливают гл. обр. подшипники и детали узлов трения (см. также *Антифрикционный чугун*).

Коррозионностойкие чугуны (табл. 3) подразделяют на низколегированные, высоколегированные (кремнием — ферросилиды, силэкс; кремнием и молибденом — антихлоры, хромом — хромэкс) и аустенитные (*нирезист* и *нихросилал*). При повышенной т-ре (до 600°С) используют низколегированные (марок ЧНХТ, ЧН1ХМ) и высоколегированные (марок ЧН1МШ, ЧН15Д7Х2, ЧН15Д3ХШ) чугуны. Если необходимо сочетание высокой *прочности*, герметичности, износостойкости, коррозионной стойкости, *эрозионной стойкости* и *кавитационной стойкости*, чугуны дополнительно модифицируют.

Коррозионностойкие чугуны используют в хим. и нефтехим. пром-сти. Из них изготавливают детали двигателей и узлов, эксплуатируемых в нагретых кислотах, влажном паре и морской воде (см. также *Коррозионностойкий чугун*). К жаропрочным чугунам относятся чугуны, легированные преим. никелем, хромом,

Таблица 4. Химический состав легированных (жаропрочных) чугунов

Марка чугуна	Содержание легирующих элементов, %			
	Si	Mn	Ni	Cr
ЧН19Х3Ш	1,8—2,5	1,0—1,6	17—20	2,5—3,5
ЧН11Г7Х2Ш	1,8—2,5	5,0—8,0	10—12	1,0—2,5

Таблица 5. Химический состав легированных (жаростойких) чугунов

Марка чугуна	Содержание легирующих элементов, %		
	Si	Cr	Al
ЖЧХ1,5	1,7—2,7	1,1—1,9	—
ЖЧХ30	1,0—2,0	28—32	—
ЖЧСШ5,5	5,0—6,0	До 0,2	—
ЖЧЮШ22	1,0—1,2	—	19—25

марганцем и молибденом (табл. 4). Их используют для изготовления деталей, эксплуатируемых под нагрузкой при высокой т-ре (см. также *Жаропрочный чугун*).

Жаростойкие чугуны отличаются высоким сопротивлением необратимому увеличению объема при нагреве до высоких т-р, происходящему вследствие внутренней коррозии, действия внутренних напряжений и структурных изменений (см. *Рост чугуна*). Повышению жаростойкости и сопротивления росту чугуна способствуют однофазная структура металлической основы, компактные графита включения и образование на поверхности чугуна плотной пленки продуктов коррозии (преим. окислов). Жаростойкие чугуны легируют хромом, никелем, кремнием и алюминием. Подразделяют их на хромистые (марки ЖЧХ), кремнистые с пластинчатым графитом (марки ЖЧС), кремнистые с шаровидным графитом (марки ЖЧСШ), алюминиевые с пластинчатым графитом (марки ЖЧЮ) и алюминиевые с шаровидным графитом (марки ЖЧЮШ) (табл. 5). Кремнистые чугуны, содержащие более 5% Si, наз. *силалами*, алюминиевые чугуны, в которых содержится 20—24% Al, — *чузалами*. Жаростойкие чугуны используют в химической, металлургической промышленности, в хим. машиностроении (см. также *Жаростойкий чугун*). Немагнитные чугуны — высоколегированные (никелем, марганцем, медью и алюминием) аустенитные чугуны (табл. 6).

Различают чугуны повышенной прочности (легированные никелем и

медью), повышенной прочности при высокой т-ре и пониженной коррозионной стойкости (легированные марганцем и никелем или никелем, марганцем и медью), а также безникелевые, легированные медью, марганцем и алюминием. Чугун, легированный никелем и марганцем, наз. *номаг*, а такие же чугуны с шаровидным графитом (0,17% Mg) — *подюмаг*. Немагнитные чугуны используют в электромашиностроении и приборостроении (см. *Немагнитный чугун*). См. также *Природнолегированный чугун*.

Лит.: Б о б р о Ю. Г. Жаростойкие и жаростойчивые чугуны. М.—К., 1960; Л е в и Л. И., К а н т е н и к С. К. Литейные сплавы. М., 1967; П е т р и ч е н к о А. М., Г л а д к и й И. П., С у х о д о л ь с к а я Е. А. Улучшение структуры и свойств чугунных отливок гидроаппаратуры. В кн.: Основы образования литейных сплавов. М., 1970; П и в о в а р с к и й Е. Высококачественный чугун, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1965. А. М. Петриченко.

ЛЕГИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы для легирования. Осн. легирующие металлы: в стали и чугунах — хром, никель, марганец, кремний, молибден, вольфрам, ванадий, титан, алюминий, ниобий, кобальт и медь; в меди сплавах — цинк, олово, свинец, алюминий, марганец, железо, никель, бериллий, кремний и фосфор; в алюминиях сплавах — кремний, медь, магний, никель, хром, кобальт и цинк; в магниевых сплавах — цинк, алюминий, марганец, кремний, цирконий и литий; в свинцовых сплавах — олово, цинк и сурьма; в титановых сплавах — алюми-

Т а б л и ц а 6. Химический состав легированных (немагнитных) чугунов

Чугун	Содержание легирующих элементов, %				
	Si	Mn	Ni	Cu	Al
Аустенитный мягкий	2,0—2,3	8,0—9,0	4,5	—	—
Аустенитный жесткий	2,3—2,5	8,0—9,0	4,5—5,0	—	—
Номаг	2,5—3,1	5,0—7,0	9,0—12,0	—	—
Марганцовомедный	2,4—3,2	7,0—12,0	—	1,0—2,0	0,06
Марганцоводеалюминиевый	2,0—3,2	5,0—6,0	—	До 5,0	4,5
Алюминиевый	До 5,0	До 1,5	—	До 3,0	20,0—34,0
Нодюмаг	2,5	2,5	11,0	—	—

ний, молибден, ванадий, марганец, медь, кремний, железо, цинк и ниобий. Кроме того, Н. м. служат металлоиды (углерод, сера, фосфор, азот), обладающие различной степенью растворимости, или практически не растворимые в железе (свинец, серебро, висмут). Целесообразность использования легирующих элементов определяется гл. обр. типом и параметрами их кристаллических решеток. Если эти показатели подобны основному элементу сплава, то следует ожидать образования *твердых растворов* с большим интервалом концентрации растворенного легирующего элемента. На таком принципе созданы почти все сплавы, применяющиеся в технике (сталь, чугун, бронза, латунь, силумин и др.) и представляющие собой различные твердые растворы легирующего элемента (железа, алюминия, меди, магния, титана и др.) в основном элементе сплава. Все легирующие элементы, вводимые в сталь, подразделяют на элементы, образующие с железом твердые растворы с высокими значениями мех. прочности, т-ры рекристаллизации и плавления, а также затрудняющие протекание в стали диффузионных процессов (никель, марганец, хром, молибден, вольфрам), и на элементы, образующие в стали, помимо твердых растворов, молекулярные соединения с прочной кристаллической решеткой, высокой т-рой плавления, большой твердостью (хром, молибден, вольфрам, ванадий, титан, ниобий). Эти соединения (карбиды, нитриды, окислы и др.) в определенных количествах и при условии равномерного их распределения в твердом растворе придают сплавам необходимый для эксплуатации комплекс свойств. Некоторые легирующие элементы (хром, алюминий, кремний, кобальт, никель и др.) обуславливают особые физико-хим. свойства стали. Кроме того, легирующие элементы влияют на ее структуру. Они увеличивают *прокаливаемость* в результате повышения устойчивости легированного аустенита, т. е. снижения критической скорости *закалки*, которое по-

зволяет применять более мягкие закалочные среды (масла), не вызывающие высоких остаточных напряжений и коробления изделий. Такими легирующими элементами являются в основном никель, марганец, молибден и ванадий. Никель придает стали после соответствующей термообработки тонкую структуру, определяющую высокую *пластичность* и вязкость. Марганец ускоряет *цементацию* и способствует получению более равномерного цементированного слоя. Молибден оказывает сильное влияние одновременно на свойства твердого раствора и карбидной фазы, что придает стали повышенную прочность, пластичность и вязкость. Ванадий, кроме того, что способствует уменьшению склонности стали к росту зерна при нагреве, хорошо раскисляет сталь и улучшает ее *свариваемость*. Упрочнение стали происходит вследствие искажения кристаллической решетки твердого раствора на основе железа атомами легирующих элементов и в результате образования твердых и прочных интерметаллидных, карбидных и нитридных фаз. К таким легирующим элементам относятся хром, вольфрам, алюминий, ванадий, титан, ниобий и др. Хром упрочняет сталь в результате образования и растворения в железной основе *карбидов*. Вольфрам увеличивает твердость стали вследствие образования сложных карбидов. Алюминий, ванадий и титан образуют *нитриды*. Введенные в сталь легирующие элементы (никель, вольфрам, ванадий, молибден и др.) уменьшают ее склонность к росту зерна при *кристаллизации* и при термообработке, уменьшают скорость диффузионных процессов, приводящих к сжижению *коагуляции* карбидов и к повышению устойчивости закаленной стали против воздействия *отпуска*. Легирующие элементы, вводимые в чугун, классифицируют по степени их воздействия на *графитизацию*. Способствуют графитизации кремний, цирконий, кобальт, никель, медь, титан и алюминий, затрудняют ее марганец, вольфрам, молибден, хром, ванадий, теллур, магний, верий и бор. К элементам, образующим твердые растворы с железной основой сплава, относятся

медь, алюминий, никель и кобальт; к элементам, участвующим в основном в образовании лишь карбидной фазы, — титан и ниобий. Как в твердый раствор, так и в карбидную фазу входят (в различных соотношениях) хром, молибден, вольфрам и ванадий. Легирующими элементами для железоуглеродистых сплавов служат кальций, магний, барий, иттрий, церий и др. элементы редкоземельной группы. Особенно успешно применяют эти элементы при микролегировании пром. углеродистых и низколегированных сталей. Резкое повышение физ.-мех. и эксплуатационных свойств металла после введения небольшого количества таких элементов обеспечивает замену дорогостоящих высоколегированных сталей дешевыми углеродистыми и низколегированными. Эффективность микролегирования активными элементами сохраняется и для высоколегированных сталей и сплавов. Введение в чугун совместных микродобавок кальция, магния и редкоземельных элементов вызывает образование в нем шаровидного графита, а сам чугун благодаря этому приобретает мех. свойства, не уступающие подчас св-вам углеродистых и даже легированных сталей (см. *Высокопрочный чугун с шаровидным графитом*). Наряду с микролегированием и соответственно упрочнением границ зерен небольшие количества кальция, магния, бария, циркония, церия и др. редкоземельных элементов играют роль технологических добавок, оказывая существенное модифицирующее, дегазирующее и рафинирующее воздействие на металл, что делает их незаменимыми при выплавке стали и чугуна. Чтобы облегчить легирование и снизить угар легирующих элементов, применяют ферросплавы, что снижает стоимость по сравнению с легированием чистыми металлами. Так, стоимость 1 кг хрома в феррохроме примерно в четыре раза меньше, чем в техническом хроме; стоимость 1 кг ниобия в феррониобии в десятки раз меньше, чем в металлическом ниобии. В качестве Л. м. используют более 25 элементов. Однако лишь некоторые из них (никель, алюминий) вводят в сталь в чистом виде, большинство же — только в

в виде ферросплавов. Все большее применение находят комплексные модифицирующие материалы, к-рые эффективно улучшают свойства сталей и чугунов. См. также *Легированные материалы*.

Лит.: Еременко В. И. Титан и его сплавы. К., 1960; Материалы в машиностроении. Справочник, т. 1. М., 1967; Ойке Г. Н. Производство стали. М., 1974; Гасик Л. Н., Игнатьев В. С., Гасик М. И. Структура и качество промышленных ферросплавов и легатур. К., 1975; Алюминий. Пер. с англ. М., 1972. С. Н. Примеров.

ЛЁГКИЕ СПЛАВЫ — сплавы на основе алюминия, магния, титана и бериллия, отличающиеся малой (до 5 г/см^3) плотностью. Характеризуются высокой удельной прочностью, хорошими мех., технологическими и литейными св-вами. Различают Л. с. деформируемые (в т. ч. спеченные из порошков) и литейные. Наиболее распространены сплавы алюминия, отличающиеся, помимо высокой удельной прочности, значительной коррозионной стойкостью. Эти сплавы выдерживают как низкие, так и повышенные т-ры, большие динамические нагрузки, легко поддаются мех. обработке. Их применяют в авиастроении, хим. и нефтяной промышленности и др. (см. также *Алюминиевые сплавы*, *Спеченные алюминиевые сплавы*). Л. с. на основе магния — самые легкие из металлических конструктивных сплавов. В них сочетаются малая плотность ($1,76\text{—}1,83 \text{ г/см}^3$) и сравнительно высокие мех. св-ва. Удельная прочность таких сплавов в 1,5 раза превышает удельную прочность мн. алюминиевых сплавов и почти в два раза — удельную прочность высокопрочных чугунов. Л. с. на основе магния поглощают энергию при ударных и знакопеременных нагрузках, их легко обрабатывать режущим инструментом (в два раза быстрее, чем алюминиевые сплавы, и в 10 раз быстрее, чем углеродистые стали). Осн. недостаток этих сплавов — низкая коррозионная стойкость. На основе системы магний — литий созданы сверхлегкие сплавы. Они на 10—25% легче стандартных сплавов магния, хорошо поддаются обработке давлением. Эффективно эксплуатируют их при норм. и отри-

цательной т-рах, если снижение массы изделий имеет первостепенное значение. Л. с. на основе магния применяют в авиа-, автомобиле- и приборостроении, для деталей электронной аппаратуры и др. (см. также *Магния сплавы*). Осн. достоинства Л. с. на основе титана — высокая коррозионная стойкость на воздухе, в морской воде и различных хим. средах, высокая удельная прочность, немагнитность, низкая *теплопроводность* и малый температурный коэфф. линейного расширения. Применяют их для изготовления деталей, эксплуатируемых при повышенной т-ре, в авиа- и ракетостроении и др. (см. также *Титана сплавы*). Л. с. на основе бериллия характеризуются высоким модулем упругости. Эксплуатируют их в интервале т-р $200 \div 400^\circ \text{C}$, используя в атомной энергетике, в авиа- и ракетостроении и др. (см. также *Бериллия сплавы*). Л. с. получают из первичных металлов (напр., алюминия и магния чушковых) и *лигатур* (для введения тугоплавких и летучих элементов). Полуфабрикаты из деформируемых Л. с. поставляют в виде слитков, листов, труб, различных профилей, проволоки и др.; из литейных Л. с. — в виде чушек. Большинство Л. с. подвергают термической обработке для увеличения прочности, пластичности и обрабатываемости. Эксплуатационные и технологические св-ва сплавов улучшают дополнительным введением редкоземельных и тугоплавких металлов, а также *модифицированием* и *рафинированием*.

Лит.: Еременко В. Н. Титан и его сплавы. К., 1960; Альтман М. Б., Лебедев А. А., Чухров М. В. Плавка и литье легких сплавов. М., 1969; Бериллий. Пер. с англ. М., 1960; Алюминий. Пер. с англ. М., 1972. В. П. Латынко, В. Г. Сапьян, И. И. Юштейн.

ЛЁГКИЙ БЕТОН — бетон с объемной массой менее 1800 кг/м^3 . Образуется вследствие затвердевания смеси *вяжущего материала*, пористых *заполнителей* (крупного и мелкого либо одного из них) и воды. Различают Л. б. на пористых искусственных заполнителях (*аглопоритобетон*, *керамзитобетон*, *перлитобетон*, *шлакопемзобетон* и др.)

и на пористых естественных заполнителях (напр., *пемзобетон*, *туфобетон*). По виду вяжущего Л. б. подразделяют на цементные (на *портландцементе*, *шлакопортландцементе* и др.), известковые, гипсовые, на смешанном вяжущем (цементно-известковом, известково-шлаковом и др.) и на *жидком стекле*. Наиболее распространены Л. б. из минер. сырья. В зависимости от структуры различают Л. б. плотные — с полным заполнением межзеренных пустот крупного заполнителя раствором; поризованные — с полным заполнением межзеренных пустот крупного заполнителя поризованным раствором; неплотные (малопесчаные) — с частичным заполнением межзеренных пустот крупного заполнителя раствором; крупнопористые (беспесчаные) — без мелкого заполнителя при расходе вяжущего не более 300 кг/м^3 . В зависимости от назначения Л. б. подразделяют на конструкционные, применяемые в несущих конструкциях (осн. показатели таких бетонов — мех. *прочность* и долговечность при соблюдении заданной объемной массы); конструкционно-теплоизоляционные, используемые в ограждающих конструкциях (осн. показатели таких бетонов, наряду с прочностью, — объемная масса и связанная с нею *теплопроводность*), и теплоизоляционные, применяемые для теплоизоляции ограждающих конструкций (осн. показатели — объемная масса и *теплопроводность*) (табл.). Прочность, подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси с пористыми заполнителями такие же, как и у *тяжелого бетона*. Принципиального различия в технологии изготовления изделий из тяжелых и конструкционных легких бетонов нет. Технология приготовления конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного Л. б. может отличаться типом складов заполнителей, дозировочным и смешительным оборудованием, а также способами тепловой обработки. Св-ва Л. б. значительно отличаются от св-в тяжелого бетона. Прочность Л. б., как и тяжелого, зависит от активности цемента, водоцементного отношения, условий и длительности твердения, а также от прочности по-

ристых заполнителей, к-рая существенно меньше прочности плотных заполнителей и часто бывает ниже заданной марки бетона. Пористые заполнители интенсивно влияют на твердение цементного теста, поглощая и отдавая ему влагу, что повышает прочность бетона. На пористом заполнителе можно приготовить Л. б. лишь с определенной предельной прочностью. Прочность Л. б. на сжатие оценивают прочностью кубиков. Марку легкого бетона устанавливают по итогам испытания образцов $150 \times 150 \times 150$ мм без переходного коэффициента. Кубиковая прочность — условная (из-за эффекта обоймы при испытании кубиков на прессе) характеристика прочности бетона в конструкции. Прочность бетона точнее характеризуется прочностью призматического образца. У Л. б. отношение призматической прочности к кубиковой выше, чем у тяжелого. Прочность на растяжение Л. б. может быть выше и ниже равнопрочного тяжелого; с повышением марки она возрастает менее интенсивно, что объясняется влиянием дефектов в зернах пористых заполнителей. При одинаковой с тяжелым бетоном прочности Л. б. имеет относительно низкий модуль упругости вследствие повышенной деформируемости пористых заполнителей. Усадка Л. б. плотного строения обычно на 15—25% больше, чем тяжелых, и может достигать 1,5 мм/м. Предельной величины она достигает в сроки более длительные, чем у тяжелых бетонов. Мера ползучести Л. б. от 2 до $7 \cdot 10^{-6}$ см²/кгс, увеличивается с понижением марки бетона. Обычно она в 1,4—1,6 раза

больше, чем у равнопрочного тяжелого бетона, и зависит от режима твердения. *Водопоглощение* Л. б. зависит от вида пористого заполнителя, структуры и объема цементного камня в бетоне. Так, водопоглощение плотного керамзитобетона марок 50—75 после суточного выдерживания в воде составляет 14—17%, перлитобетона 25—30%. *Водопроницаемость* Л. б. примерно такая же, как и тяжелого, паропроницаемость значительно выше. *Морозостойкость* Л. б. определяется стойкостью всех его составляющих, прежде всего — стойкостью цементного камня, и увеличивается с уменьшением в бетоне объема капиллярных пор. Морозостойкость плотного Л. б. может быть выше, чем тяжелого. Она обеспечивается достаточным количеством цементного теста для образования оболочек вокруг зерен пористого заполнителя. Хим. стойкость достигается высокой плотностью бетона и выбором цемента. Плотные Л. б. хорошо сопротивляются сульфатной коррозии бетона и стойки против выщелачивания. Теплопроводность Л. б. значительно ниже, чем тяжелого, и повышается с увеличением объемной массы. Эта зависимость близка к линейной. Влага существенно повышает теплопроводность Л. б. Зависимость между коэфф. теплопроводности и влажности у Л. б. некоторых видов также линейная. Материалы стекловидного строения (шлаковая пемза, перлит) обуславливают меньший коэфф. теплопроводности. *Огнестойкость* Л. б. по

Характеристики легких бетонов

Бетон	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м ³	Марка бетона	Морозостойкость (число циклов, выдерживаемых материалом)	Коэффициент теплопроводности, $\kappa\text{кал/м} \cdot \text{ч} \times \text{град}$
Конструкционный	1400—1800	150; 200; 250; 300; 350; 400	35; 50; 100; 150; 200;	Не нормируется
Конструкционно-теплоизоляционный	500—1400	35; 50; 75; 100;	10; 15; 25; 35; 50; 75;	0,20—0,55
Теплоизоляционный	300—500	5; 10; 15	Не нормируется	0,1—0,2

сравнению с тяжелыми выше на 30%. Малопесчаные Л. б. с плотным каркасом из пористых заполнителей относятся к *звукопоглощающим материалам*. Наибольшее распространение получили легкобетонные ограждающие конструкции из бетона объемной массой 900—1300 кг/м³, меньшее — несущие конструкции из бетона марок 200—400 объемной массой 1600—1800 кг/м³. Применение Л. б. дает возможность снизить затраты на транспортировку (в среднем на 25%) и монтаж конструкций, сэкономить материалы при возведении фундаментов зданий вследствие уменьшения массы конструкций (на 30—35%). Наибольший эффект достигается при комплексном использовании Л. б. для большинства конструкций возводимого сооружения, а также при строительстве высотных зданий. Осн. нормативные документы на Л. б.: ГОСТы 11051—70, 11050—64, 11024—72 и 13578—68. См. также *Ячеистый бетон*.

Лит.: Довжик В. Г., Кайсер Л. А. Конструктивно-теплоизоляционный керамзитобетон в крупнопанельном домостроении. М., 1964; Бужевич Г. А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. М., 1970; Симонов М. З. Основы технологии легких бетонов. М., 1973; Иванов И. А. Технология легких бетонов на искусственных пористых заполнителях. М., 1974.

ЛЕГКОПЛАВКИЕ СПЛАВЫ — металлические сплавы с температурой плавления не выше 327° С. Осн. компонентами Л. с. являются легкоплавкие металлы, ряд к-рых ограничивают цинком (ртуть, цезий, галлий, рубидий, калий, натрий, индий, литий, олово, висмут, таллий, кадмий, свинец, цинк). Эти металлы образуют друг с другом сплавы с еще более низкими т-рами плавления, за исключением нек-рых систем, содержащих тугоплавкие интерметаллиды, напр. Li₃Bi ($t_{пл} = 1145^\circ \text{C}$), Na₃Bi ($t_{пл} = 775^\circ \text{C}$). Самая низкая температура плавления (—63,3° С) у амальгамы таллия (8,35% Тl) с небольшим добавлением индия. Промышленные Л. с. подразделяют на сплавы тяжелых металлов (олова, свинца и висмута), сплавы рассеянных металлов (индия, галлия и таллия), сплавы щелочных метал-

лов и амальгамы (сплавы со ртутью). Л. с. отличаются небольшой мех. прочностью и невысокой твердостью, нек-рые из них — хорошими литейными и адгезионными (см. *Адгезия*) св-вами. Исторически сложившиеся представления о Л. с. связаны с композициями на основе олова и свинца — металлов, известных еще в глубокой древности, а также со сплавами системы висмут — свинец — олово — кадмий, такими, как *Вуда сплав* или сплав Липовица. Сплавы рассеянных металлов начали использовать сравнительно недавно, а сплавы щелочных металлов еще не нашли широкого применения. Л. с. используют гл. обр. в качестве легкоплавких припоев (табл.), подразделяемых по осн. компоненту на оловянно-свинцовые, оловянные, свинцовые, кадмиевые, висмутовые, индиевые и галлиевые. Чаще всего применяют оловянно-свинцовые припой, содержащие 3 ÷ 90% Sn. Их изготавливают в виде чушек, круглых и трехгранных прутков, проволоки, ленты, а также в виде трубок, заполненных флюсом (канифолью). Они отличаются достаточной прочностью, *коррозионной стойкостью* и высокими технологическими св-вами — пластичностью и хорошей смачивающей способностью по отношению ко многим металлам и сплавам. Эти припои применяют в электро- и радиотехнике, при изготовлении медицинской аппаратуры, для соединения изделий из меди, бронзы, латуни и др. Для пайки изделий, эксплуатируемых в условиях тропического климата, используют коррозионностойкие оловянные припой марок ВПр6 и ВПр9. Свинцовые припой, легированные серебром и кадмием, отличаются повышенным сопротивлением *ползучести* при рабочей т-ре до 100° С. Их применяют для пайки изделий из меди, стали, никеля, алюминия и тонких покрытий из благородных металлов. Кадмиевые припой, отличающиеся значительной прочностью, применяют в тех случаях, когда рабочая т-ра соединения не позволяет применять другие легкоплавкие припои. Если необходима низкая т-ра плавления, используют висмутовые припои. Их особенность заключается также в увеличении объема при

за твердеванием. Припой на основе индия отличаются высокой коррозионной стойкостью в щелочных растворах. Их используют для пайки полупроводниковых материалов, соединения стекла и металлов в вакууме и др. Галлиевые припои в виде паст часто применяют в электронной пром-сти и вакуумной технике (см. также *Припой*). Л. с. висмута, свинца, олова и кадмия используют также для изготовления матриц, моделей, шаблонов, заливки абразивных и алмазных материалов, в качестве форм для литья пластмасс и смол. Они нашли применение как уплотнители, удерживающие прокладки, предохранительные легкоплавкие пробки в противопожарном оборудовании и цилиндрах высокого давления, автоматические выключатели газовых и электр. систем нагревания воды. Из сплава Вуда, обладающего хорошими литейными св-вами, выплавляют модели для металлических и пластмассовых отливок сложной формы, стержни для изготовления пустотелых изделий электро-

осаждением и др. Сплавы индия с висмутом, свинцом, оловом и кадмием применяют для изготовления термоограничителей, терморегуляторов и др. систем пожарной сигнализации; сплав индия с оловом — для получения пленки, предотвращающей образование льда и затуманивание ветровых стекол самолета; двойные сплавы индия с кадмием и сурьмой — как гальванические покрытия, стойкие в агрессивных средах. Сплавы таллия применяют реже. Таллием легируют свинцовые сплавы для повышения их коррозионной стойкости. Такие сплавы употребляют в качестве нерастворимых анодов при электролизе некоторых металлов. Сплавами галлия с индием заполняют измерительные устр-ва и циркуляционные системы, предназначенные для длительной эксплуатации в различных температурных условиях. Способность сплавов галлия хорошо смачивать твердые

Химический состав и свойства легкоплавких сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %					$t_{пл}, ^\circ C$
	Sn	Pb	Cd	Sb	Прочие	
ПОС90	89—91	9—11	—	—	—	183—220
ПОС10	9—10	90—91	—	—	—	268—299
ПОСК50-18	49—51	Остальное	17—19	—	—	142—145
ПОССу61-0,5	60—62	»	—	0,2—0,5	—	183—189
ВПр6	85	—	—	7	8Ag	245—270
ВПр9	92	—	—	1	15Ag 12Cu	220—250
Сплав Вуда	12,5	25	12,5	—	50Bi	69—75

Марка сплава	$D, г/см^3$	$\rho, \text{ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$	$\lambda, \frac{\text{кал}/\text{см} \times \text{сек}}{\times \text{град}}$	$\sigma_B, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$	$\delta, \%$	HB
ПОС90	7,6	0,120	0,130	4,9	40	15,4
ПОС10	10,8	0,200	0,084	3,2	44	12,5
ПОСК50-18	8,8	0,133	0,130	4,0	35	14,0
ПОССу61-0,5	8,5	0,140	0,120	4,5	62	13,5
ВПр6	7,6	0,170	0,120	8,3	8,8	—
ВПр9	7,5	0,130	0,150	5,0	23	—
Сплав Вуда	8,3	—	—	5,1	24	8,6

материалы используют также для создания жидких затворов в вакуумных аппаратах и диффузионных насосах, а также в спец. электровакуумных приборах. Кроме того, сплавы галлия применяют в атомной энергетике, для создания скользящих контактов униполярных электромашин, в медицине.

Лит.: Материалы в машиностроении. Справочник, т. 1. М., 1967; Коган Б. И., Вершкова О. В., Славицкая И. М. Галлий. М., 1973; Ривлин Ю. И., Коротков М. А., Чернобыльский В. Н. Металлы и их заменители. Справочник. М., 1973; Справочник по редким металлам. Пер. с англ. М., 1965.

С. И. Стельмах, И. А. Шека.

ЛЕД, H_2O —минерал класса окислов (кристаллическое состояние воды). Разности: снежинки — пластинчатые скелетные кристаллы, возникающие при охлаждении водяного пара; иней, изморозь — дендриты и узорчатые образования, возникающие также при сублимации; град — концентрически-слоистые или сферолитовые агрегаты; сосульки — натежные формы, образующиеся из переохлажденной воды; фирн, или фирновый Л.— уплотненный снег с зернистым строением, содержащий большое количество пор, заполненных воздухом; глетчерный Л.— плотные агрегаты крупных неправильной формы зерен. Кроме того, выделяют Л. речной, озерный, морской, грунтовой и пещерный. Хим. состав (%): О — 88,8%, Н — 11,2. Иногда содержит газообразные и твердые мех. примеси. Структура координационная, похожа на структуру алмаза. Каждая молекула воды окружена четырьмя молекулами, размещенными в вершинах правильного тетраэдра. Сингония гексагональная, вид симметрии дигексагонально-пирамидальный. Л.— широко распространенный минерал. Образует разнообразные агрегаты, зернистые и плотные массы, натеки, корки, градины, дендриты и др. узорчатые формы. Хорошо образованные большие кристаллы редки, хотя иногда они могут достигать значительных размеров. Обычно кристаллы призма-

матического габитуса с наиболее развитыми гранями гексагональной призмы $\{11\bar{2}0\}$, гексагональной бипирамиды $\{11\bar{2}1\}$ и пинакоида $\{0001\}$. Спайность отсутствует. Плотность $0,917 \text{ г/см}^3$ (самый легкий минерал). Твердость по шкале Мооса — 1,5 (т-ра — 5°C), 4 (т-ра — 44°C) и 6 (т-ра — $78,5^\circ \text{C}$). Хрупкий. Кристаллы Л. бесцветны и прозрачны. Снег и иней белые, большие массы Л.— голубого цвета (см. Цвет минералов). Блеск стеклянный (см. Блеск минералов). Одноосный, положительный. Показатели преломления: $n_g = 1,310\text{—}1,313$; $n_p = 1,309$; $n_g - n_p = 0,004\text{—}0,001$. Превращение воды в Л. сопровождается выделением 80 ккал тепла на 1 л воды. При высоком давлении Л. переходит в более плотную (тригональную) форму с упорядоченным распределением протонов, к-рая в природе не обнаружена. Л. кристаллизуется на поверхности водных бассейнов при т-ре воздуха ниже 0°C , в атмосфере — из водяного пара, в ледяных пещерах — из просачивающихся переохлажденных поверхностных вод, в районах вечной мерзлоты и в почвах. Фирновый Л. образуется в высокогорных районах (выше снеговой линии) и в полярных областях, где выпавшие за зиму осадки не успевают растаять летом. Под влиянием солнечной радиации и вследствие сублимации водяного пара, возникающего при испарении мелких снежинок, снег перекристаллизовывается и приобретает крупнозернистое строение. В дальнейшем зерна фирна смерзаются, пузырьки воздуха исчезают и фирновый Л. переходит в плотный крупнозернистый глетчерный. Л. применяют в холодильном деле, в быту и технике. В холодных районах Л. служит источником питьевой воды.

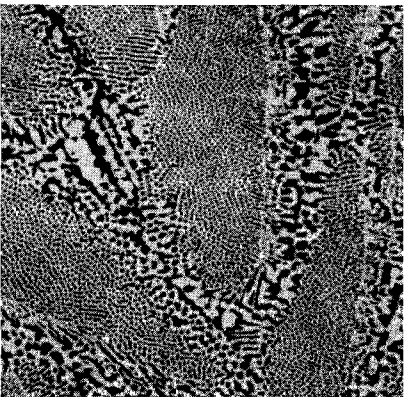
Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. Пер. с англ. М., 1953. Ю. А. Галабурда.

ЛЕДЕБУРИТ [по имени нем. металлурга А. Ледебур (A. Ledebur)] — структурная составляющая железуглеродистых сплавов, эвтектическая смесь цементита и аустенита. Образуется при т-ре 1145°C (см.

Диаграмма состояния железо — углерод) и содержит 4,3% С. В чистых железоуглеродистых сплавах Л. образуется лишь при содержании углерода более 2,03%. В сплавах, легированных карбидообразующими элементами (хромом, вольфрамом, молибденом, ванадием и др.), образование Л. происходит при содержании углерода 0,7—1%, и он представляет собой эвтектическую смесь (см. *Эвтектика*) легированного аустенита и карбидов легирующих элементов. Такие сплавы относятся к сталям ледебуритного класса. Основа зерна Л. — цементит с включениями аустенита, степень разветвления к-рых растет с переохлаждением относительно эвтектической температуры.

При т-ре ниже эвтектоидной (723° С) аустенит превращается в *перлит*. Следовательно, при комнатной т-ре Л. состоит из цементита и перлита (рис.). Наличие твердого и хрупкого цементита в структуре Л. исключает возможность обработки давлением чугунов, в состав к-рых входит Л. Стали ледебуритного класса содержат относительно небольшое количество Л., и поэтому их можно подвергать горячей обработке давлением. При ковке ледебуритных сталей включения эвтектического карбида дробятся, принимая вид зерен, равномерно распределенных в металлической основе.

Микроструктура ледебурита: светлая основа — цементит, темные включения — перлит, $\times 300$.



Лит.: Богачев И. Н. Металлография чугуна. Свердловск, 1962; Бунин К. П., Малиночка Я. Н., Таран Ю. Н. Основы металлографии чугуна. М., 1969; Бунин К. П., Таран Ю. Н. Строение чугуна. М., 1972.

Я. В. Гречный.

ЛЕПИДОЛИТ [от греч. *λεπίς* (*лепис*) — чешуя и *λίθος* — камень], $\text{KLi}_{1,5}\text{Al}_{1,5}(\text{F}, \text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ — минерал класса *силикатов*, *литиевая слюда*. Состав переменный, нередко промежуточный между ди- и триоктаэдрическими слюдами, часто не соответствует формуле. Содержание Li_2O — от 1,2 до 5,9%. Обычно изоморфные замещения (см. *Изоморфизм*) октаэдрических катионов лития и алюминия на железо, магний и марганец (до 3% MgO , до 7,5% MnO), часто на стронций, галлий, ниобий, торий и титан. Калий замещается натрием, кальцием, барием, рубидием и цезием (до 3,7% Rb_2O , до 1,5% Cs_2O). Средний (по 26 анализам) состав характерных для Л. компонентов (%): MnO — 1,16; Li_2O — 3,77; Rb_2O — 0,54; F — 5,41. С точки зрения изоморфных соотношений слюд Л. можно рассматривать как крайний член изоморфного ряда лепидолит — *биотит* и как промежуточный член ряда *мусковит* — *полилитонит*, в к-ром наблюдается, по-видимому, разрыв смешимости при содержании 3,3% Li_2O . Граница между мусковитом и лепидолитом не формализована. Структура слоистая, сингония моноклинная. Наиболее часты политипные модификации $1M$, $2M_2$ и $3T$. Отмечаются срастания политипов. Л. образует пластинчатые и тонкочешуйчатые агрегаты. Кристаллы пластинчатые. Наиболее часты простые формы {001}, {110} и {010}. Двойники редки по слюдному закону. Спайность весьма совершенная по (001) (см. *Спайность минералов*). Л. — весьма эластичный минерал. *Плотность* 2,80—2,90 г/см³. *Твердость* 2,5—3. Цвет белый, розоватый, бледно-фиолетовый (см. *Цвет минералов*). В шлифах бесцветный, плеохроитует: максимум *абсорбции* в направлении колебания лучей в плоскости спайности. Показатели преломления: $n_p = 1,525$ —1,548; $n_m = 1,551$ —1,585; $n_g = 1,554$ —

1,587; $n_g - n_p = 0,018 - 0,038$. Двухосный, отрицательный; $2V = 0 - 58^\circ$. Оптические св-ва в связи с наличием сростков могут изменяться в пределах одной пластинки. Встречается в гранитных пегматитах в виде чешуйчатых агрегатов, а иногда крупных кристаллов в ассоциации с амблигонитом, сподуменом, цинквальдитом, альбитом, кварцем, а также с розовым турмалином, топазом, бериллом, касситеритом, поллуцитом, колумбитом. В пегматитах нефелиновых сиенитов на поздних стадиях часто замещает натролит, тайнолит. Кроме того, установлен в гранитах, аплитах, грейзенах и высокотемпературных гидротермальных жилах с касситеритом. Часто замещает биотит, иногда мусковит и другие литиевые слюды. Получен Л. гидротермальным синтезом. Л. — второй по важности (после сподумена) источник лития, иногда попутно извлекаются рубидий и цезий. Л. вводят в стекла и эмали для понижения коэфф. термического расширения и увеличения прочности.

Лит.: Назаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 3. Пер. с англ. М., 1966. В. Е. Тепинин.

ЛЕСС (нем. Löss) — преимущественно однородная континентальная горная порода. Представляет собой различные по происхождению крупнопылеватые, столбчатой отдельности суглинки, супеси и глины, макропористые, чаще карбонатные, неслоистые, скрытослоистые, отличающиеся иногда местной, обычно неправильной слоистостью. Л. чаще всего классифицируют по генезису (эоловый, делювиальный и т. д.) и литологическому составу (напр., крупнопылеватый легкий макропористый карбонатный неслоистый суглинок; мелкопесчаная тяжелая макропористая бескарбонатная скрытослоистая супесь). Для лессовых толщ характерны разнообразные ископаемые почвы. В Л. обычно преобладает кварц (до 80—95% пылеватых и песчаных фракций), содержание карбонатных минералов различно (от десятых долей до 40%, чаще

3—15%). Другие минералы этих фракций имеют подчиненное значение, однако местами преобладают вулканическое стекло, полевые шпаты. Часто встречаются амфиболы, эпидот и др. Тонкодисперсные фракции полиминеральны, в них господствуют гидрослюда и монтмориллонит. Хим. состав (%): $SiO_2 > 50$ (чаще 65 ÷ 85); $Al_2O_3 - 8 \div 12$; $Fe_2O_3 - 2 \div 6$; $CaCO_3 -$ до 40 (обычно 3 ÷ 15); MgO и $K_2O - 1 - 2$. Цвет Л. палевый, желтовато-, буровато-, сизовато-палевый, бурый. Л. полупустынных и пустынных областей содержит до 10% SO_3 и Na_2O (каждого). Л. занимает около 10% суши. Мощность лессовых толщ — от нескольких метров до 50—70—400 м. Преобладают эоловые, существенное значение имеют делювиальные, иногда аллювиальные, пролювиальные и озерно-ледниковые. Возраст Л. — четвертичный, однако встречаются плиоценовые (местами «каменные») п., очевидно, более древние лессы. Л. используют как местный строительный материал, для изготовления кирпича, при возведении дамб, плотин и др., в качестве основания различных сооружений. Негативная особенность некоторых Л. — уплотнение («просадка») под нагрузкой и при увлажнении.

Лит.: Приклонский В. А. Грунтоведение, ч. 2. М., 1952; Кригер Н. И. Лессе, его свойства и связь с географической средой. М., 1965; Веклич М. Ф. Стратиграфия лессовой формации Украины и соседних стран. К., 1968.

М. Ф. Веклич.

ЛЕТУЧЕСТЬ, и с п а р я е м о с т ь — свойство твердых или жидких материалов переходить в паробразное состояние. Определяет высокотемпературную стойкость материалов в вакууме или инертной среде. Количественно характеризуется скоростью испарения

$$G = \frac{\Delta m}{S\tau}, \quad (1)$$

где Δm — убыль массы материала; S — площадь поверхности испарения; τ — продолжительность испарения. Процесс испарения обусловлен разрывом хим. связей в материалах, поэтому его скорость зависит прежде всего от энергии связи в кристаллах. Величина этой энергии

определяется для простых веществ теплотой *сублимации*, для соединений — теплотой атомизации. Кроме того, существует четкая зависимость между прочностью связи и т-рой плавления вещества. Наименьшая Л. у вольфрама, большей Л. отличаются тантал, *карбиды*, др. тугоплавкие металлы, *бориды*, *окислы* (табл.). Наибольшая Л. материалов — в вакууме. Увеличение давления инертного газа на несколько порядков уменьшает ее, что используют при дуговой плавке карбидов определенных составов. В глубоком вакууме скорость испарения определяется общим давлением пара по ф-ле

$$G = P_0 (2\pi R T / M)^{1/2}, \quad (2)$$

где P_0 — равновесное давление пара; R — универсальная газовая постоянная; T — абс. т-ра испарения; M — мол. масса пара. Если нет данных о скорости испарения, их находят по общему давлению пара, к-рое для тугоплавких металлов и мн. неорганических соединений известно из термодинамических характеристик. Для мн. материалов по ф-ле (2) можно определить только верхний предел скорости испарения, поскольку наблюдаемое давление пара обычно меньше равновесного значения P_0 :

$$P = \alpha P_0, \quad (3)$$

где α — коэфф. испарения, показывающий, во сколько раз давление пара, вычисленное по скорости испа-

рения с открытой поверхности, меньше равновесного давления. Отклонение коэфф. α от единицы обуславливается чистотой и рельефом поверхности, давлением остаточных газов и др. При равновесном испарении коэфф. α равен единице. Коэфф. α меньше единицы при конгруэнтном испарении, сопровождающемся диссоциацией хим. соединений, а также тогда, когда состав пара определяется мол. составляющей. Характерный пример — испарение окислов и *нитридов*. Увеличение скорости испарения обуславливается давлением молекул азота, при этом $\alpha \approx 10^{-3} \div 10^{-4}$. *Пирография* также испаряется неатомарно. Давление пара над нпм определяется молекулами C_3 , и у него $\alpha \approx 0,1 \div 0,3$. В остальных случаях, в пределах обычных ошибок опытов при высокой т-ре, $\alpha = 1$. Наиболее общим методом определения скорости испарения является метод непрерывного взвешивания в вакууме или инертной среде. Если используют автоматические весы, то скорость уменьшения массы фиксируется непосредственно на диаграммной ленте самописца. Скорость же испарения рассчитывают, исходя из геометрической особенности поверхности образцов. При высоких т-рах роль по-

Скорость испарения (численное значение летучести) материалов

Материал	Скорость испарения, г/см ² ·сек	Материал	Скорость испарения, г/см ² ·сек	Материал	Скорость испарения, г/см ² ·сек
W	$1,8 \cdot 10^{-9}$	C _{гp}	$5,6 \cdot 10^{-7}$	VC _{0,9}	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Ta	$1,3 \cdot 10^{-8}$	ThC ₂	$7,8 \cdot 10^{-7}$	TiC	$1,8 \cdot 10^{-4}$
TaC _{0,71}	$2,5 \cdot 10^{-8}$	ThO ₂	$5,0 \cdot 10^{-6}$	BNC	$2,5 \cdot 10^{-4}$
HfC	$2,5 \cdot 10^{-8}$	ZrB ₂	$5,8 \cdot 10^{-6}$	B ₄ C	$3,7 \cdot 10^{-4}$
ZrC	$4,0 \cdot 10^{-8}$	Mo	$5,9 \cdot 10^{-6}$	Al ₂ O ₃	$5,0 \cdot 10^{-4}$
NbC _{0,77}	$4,0 \cdot 10^{-8}$	LaB ₆	$5,0 \cdot 10^{-6}$	ZrO ₂	$5,0 \cdot 10^{-4}$
Nb	$2,0 \cdot 10^{-7}$	Hf	$2,4 \cdot 10^{-5}$	B	$5,1 \cdot 10^{-4}$
UC ₂	$2,7 \cdot 10^{-7}$	UB ₄	$3,8 \cdot 10^{-5}$	SiC	$3,9 \cdot 10^{-3}$
WC	$5,0 \cdot 10^{-7}$	BeO	$5,0 \cdot 10^{-5}$	BN	$5,0 \cdot 10^{-2}$

Примечание: Скорость испарения окислов приведена для т-ры 2000 К, остальных материалов — для т-ры 2500 К.

верхности нивелируется, поскольку она имеет «естественную» шероховатость. Относительная ошибка в определении скорости испарения в области т-р 2500—3500 К достигает 100%, при более низких т-рах (1500—2000 К) — в десять раз меньше. См. также *Вакуумная стойкость*. Лит.: Несмеянов А. Н. Давление пара химических элементов. М., 1961; Фесенко В. В., Болгар А. С. Испарение тугоплавких соединений. М., 1966; Куликов И. С. Термическая диссоциация соединений. М., 1969; Физико-химические свойства окислов. Справочник. М., 1969; Гордиенко С. П., Феночка Б. В., Фесенко В. В. Редкоземельные металлы и их тугоплавкие соединения. К., 1971; Болгар А. С., Турчанин А. Г., Фесенко В. В. Термодинамические свойства карбидов. К., 1973. В. В. Фесенко.

ЛИГАТУРА (лат. *ligatura* — связка) — вспомогательный сплав, добавляемый в жидкие металлы или сплавы, чтобы изменить их хим. состав и улучшить свойства. Легирующий элемент усваивается из Л. лучше, чем при введении его в чистом виде. Л. получают сплавлением необходимых компонентов или восстановлением их из руд, концентратов или окислов. Наибольшее применение Л. находят в черной металлургии, гл. обр. для модифицирования и легирования сталей и чугунов. Использование в качестве модификаторов спец. Л. (прим. кремний — магний — железо и кремний — кальций — магний — церий — железо) дает возможность получать высокопрочный чугун с шаровидным графитом, значительно превосходящий по физико-мех. св-вам обычный серый чугун с пластинчатым графитом и не уступающий сталям некоторых марок. Л. добавляют непосредственно в плавильные агрегаты или в ковш. Большое значение имеют Л. в произ-ве алюминия сплавов, меди сплавов, цинка сплавов, магния сплавов, бронз, латуней и др. цветных сплавов, где служат промежуточными сплавами, вводимыми в осн. сплав в процессе плавки. Так, кремний, марганец, медь и др. элементы вводят в расплавленный алюминиевый (основной) сплав в виде предварительно сплавленных Л., напр. алюминий — кремний (20—25% Si), алюминий — марга-

нец (5—10% Mn), алюминий — медь (35—50% Cu). Л. наз. также металлы, к-рые вводят в благородные металлы или их сплавы, чтобы придать им необходимые св-ва или удешевить изделия из них. Так, сплавы золота с серебром отличаются большей твердостью, легкоплавкостью и пластичностью, чем каждый из этих металлов в отдельности. Медь, введенная в сплав золота с серебром, придает ему красно-золотистый цвет. Алюминий образует с золотом сплавы, окраска к-рых меняется от желтой до пурпурной. Сплав золота, содержащий 22% Al (соответствует хим. соединению $AuAl_2$), отличается характерным пурпурным цветом. Л. благородных металлов применяют в радиоэлектронике, ювелирном деле. См. также *Легирующие материалы*, *Модифицирующие материалы*, *Ферросплавы*. Лит.: Арбузов Б. А. [и др.] Цветное литье. Легкие сплавы. М., 1966; Орлов Н. Д., Чурсин В. М. Справочник литейщика. Фасонное литье из сплавов тяжелых цветных металлов. М., 1971. В. Д. Краля.

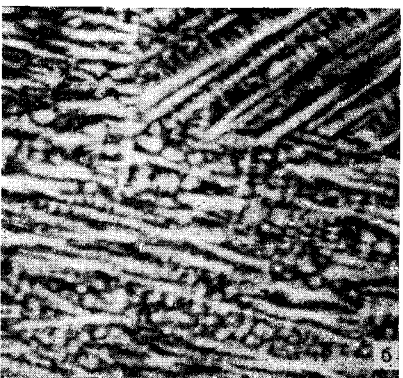
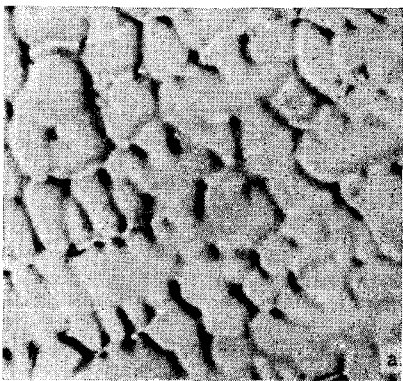
ЛИКВАЦИЯ (от лат. *liquatio* — разжижение, плавление) — неоднородность хим. состава, возникающая при кристаллизации материала. В литых металлах проявляется как неоднородное распределение сопутствующих примесей, в сплавах — как неоднородное распределение легирующих элементов и примесей. Возникает в результате оттеснения хим. элементов в жидкую фазу движущимся фронтом кристаллизации с последующим их перераспреде-

Коэффициенты распределения (ликвации) химических элементов в стали

Химический элемент	Коэффициент распределения (ликвации)	Химический элемент	Коэффициент распределения (ликвации)
Углерод	0,13	Никель	0,80
Кислород	0,10	Кобальт	0,92
Сера	0,05	Хром	0,95
Марганец	0,84	Молибден	0,70
Кремний	0,66	Вольфрам	0,95
Фосфор	0,07	Алюминий	0,92
Медь	0,56	Ванадий	0,90

нием диффузией и конвективным массопереносом. Склонность хим. элемента к Л. определяется коэфф. распределения (ликвации), равным отношению концентрации элемента в твердой фазе к ее концентрации в жидкой фазе при равновесии. Примесь с коэфф. распределения меньше единицы в процессе неравновесной кристаллизации обогащает жидкую фазу, способствуя развитию ликвации (табл.). Сера и фосфор в сталях обладают макс. склонностью к ликвации. Различают Л. микроскопическую и макроскопическую (зональную). Микроскопическая Л. развивается в пределах отдельных кристаллитов. Характерным ее проявлением является *внутрикристаллическая*, или *дендритная*, ликвация. Легирующие элементы и примеси обогащают

Микроскопическая ликвация литой стали марки Х25Н20: а — микроструктура, $\times 120$; б — автордиограмма (радиоактивный углерод ^{14}C), $\times 20$.



пограничные зоны ячеек или концентрируются в междоузлиях пространствах *дендритов* соответственно при ячеистом (см. *Ячеистая структура*) или дендритном (см. *Дендритная структура*) строении первичного кристаллита. В зависимости от хим. состава затвердевшего сплава обогащенные микроучастки имеют структуру, аналогичную структуре внутренних объемов ячеек и осей дендритов, или образуют новые фазовые системы, напр. *эвтектику*. Макроскопическая Л. обусловлена различием хим. состава отдельных зон слитка, крупной отливки или сварного шва. К ней относятся нормальная ликвация, обратная ликвация и ликвация по плотности. В слитке ликвационные зоны или границы между ними проявляются в виде ликвационного квадрата (в поперечном сечении), сходящихся к вершине ликвационных полос — «усов» (в продольном сечении), а также в виде разобщенных участков — пятен. Норм. Л. происходит в результате отеснения макроскопическим фронтом кристаллизации элементов с коэфф. распределения меньше единицы от поверхности слитка к его оси. Особенно четко она выявляется в сплавах, склонных к образованию зоны *транскристаллизации*. Обратная Л., при к-рой легирующие элементы и примеси концентрируются в наружных зонах слитка или отливки, обусловлена усадочными явлениями (см. *Усадка*), в частности разностью давлений при отделении металла от стенок изложницы и выдавливанием обогащенной жидкой фазы по междендритным каналам в поверхностные зоны. Ликвация по плотности — неоднородное распределение легирующих элементов и примесей по высоте слитка вследствие перемещения вверх или вниз обогащенного расплава и отдельных кристаллитов, возникающих перед фронтом кристаллизации. Л. изучают с помощью качественных и количественных методов *физико-химического анализа*. Микроскопическую Л. (рис.) выявляют *автордиографическим анализом*, *металлографическим анализом*, *микрорентгено-*

спектральным анализом и электронномикроскопическим анализом. Макроскопическую Л. определяют осмотром поверхности травленных макросплавов, а иногда отдельных сечений слитка. Распределение серы (сульфидов) в стали и чугуна устанавливают *Баумана методом*. Л. способствует образованию различных дефектов в литых металлах и сплавах, затрудняет их обработку, ухудшает структуру и св-ва. Так, вследствие Л. возникают горячие трещины в слитках, отливках и сварных швах, полосчатая неоднородность проката и соответствующая анизотропия мех. св-в. В инструментальных сталях Л. вызывает карбидную ликвацию и ухудшает их эксплуатационные св-ва. Л. предотвращают и устраняют рафинированием металлов и сплавов, созданием оптимальных условий кристаллизации, измельчением первичной структуры модифицирующими добавками и мех. воздействием, микролегированием, заключительным гомогенизирующим отжигом полуфабрикатов и изделий.

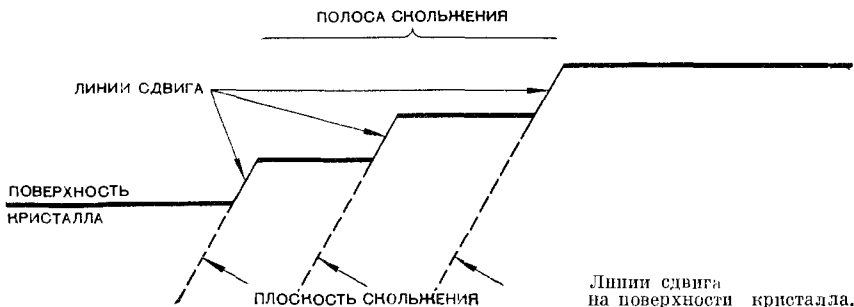
Лит.: Голыков И. Н. Дендритная ликвация в стали. М., 1958; Мовчан Б. А. Границы кристаллитов в литых металлах и сплавах. К., 1970; Хворин Н. И. Кристаллизация и неоднородность стали. Пер. с чеш. М., 1958; Чалмерс Б. Теория затвердевания. Пер. с англ. М., 1968. Б. А. Мовчан.

ЛИНИИ СДВИГА — линии (следы скольжения), возникающие на поверхности кристалла вследствие сдвиговой пластической деформации. Под действием внешних сил кристалл разделяется на слои, смещающиеся относительно друг друга, а на по-

верхности образуются линии сдвига. Эти линии представляют собой ступеньки, возникающие в местах выхода дислокаций на поверхность в плоскостях скольжения. Близко расположенные линии (рис.) образуют полосы (пачки) скольжения. Слои между линиями в пределах полосы наз. ламелями. Л. с. наблюдаются с помощью оптического микроскопа на полированной поверхности. Структуру полос скольжения исследуют методом электронномикроскопического анализа. По Л. с. судят о кристаллографии и пространственном распределении скольжения; возникновение, густота и расположение линий характеризуют пластическую деформацию материала.

Лит.: Фридель Ж. Дислокации. Пер. с англ. М., 1967; Физическое металловедение, в. 3. Пер. с англ. М., 1968. П. В. Рыбко.

ЛИОФИЛЬНОСТЬ (от греч. $\lambda\acute{o}\omega$ — растворяю и $\phi\acute{\iota}\lambda\acute{\omega}$ — люблю) — интенсивное взаимодействие веществ или образующих ими тел с жидкостями; свойство, противоположное *лиофобности*. Проявляется оно в смачивании и сольватации (образовании слоя ориентированных молекул растворителя вокруг ионов, молекул, коллоидных частиц в растворах и коллоидных системах). Определяется молекулярной природой твердых тел. Частные случаи Л.: *гидрофильность* — интенсивное взаимодействие веществ (тел) с водой и *олеофильность* (липофильность) — взаимодействие веществ с маслами. Понятие Л. первоначально применялось к дисперсным системам (коллоидам), в к-рых под лиофильным веществом подразумевалась дисперсная фаза в жидкости (дисперсионной среде). В коллоидных си-



темах дисперсная фаза образует коллоидов молекулярно взаимодействует с дисперсионной средой и поэтому способна в ней растворяться. Такие системы наз. **лиофильными**. К ним относятся растворы мыл, танидов, алкалоидов и некоторых красителей. Понятие **Л.** применяют также к системам, полученным вследствие самопроизвольного диспергирования твердого тела в жидкой среде с образованием двухфазной, но термодинамически устойчивой микрогетерогенной системы (см. *Гетерогенная структура*). В этих системах достаточно сильно выражено взаимодействие между веществом дисперсной фазы и дисперсионной средой. Образование лиофильных коллоидных систем в результате самопроизвольного диспергирования происходит при весьма малых значениях свободной межфазной энергии, при к-рых становится возможным диспергирование вещества в результате одного лишь теплового движения. Условие самопроизвольного диспергирования определяется уравнением $\sigma = \gamma \frac{kT}{a^2}$, где σ — межфазная энергия; γ — безразмерный множитель; k — постоянная Больцмана; T — абс. т-ра; a — средний размер частиц, участвующих в броуновском движении ($a \approx 10^{-6}$ см).

Дисперсность двухфазных лиофильных систем определяется молекулярной природой и т-рой обеих фаз. **Л.** учитывают при произ-ве и использовании строительных, конструктивных, волокнистых, пористых и др. материалов.

Лит. см. к ст. *Лиофилизация*.

Р. В. Кучер, Б. Т. Лапан.

ЛИОФОБНОСТЬ (от греч. *λύω* — растворяю и *φόβος* — страх) — слабое взаимодействие веществ или образуемых ими тел с жидкостями; свойство, противоположное *лиофильности*. Системы, у к-рых дисперсная фаза не способна сама по себе взаимодействовать с дисперсионной средой, а следовательно, не растворяется в ней, наз. **лиофобными**. К лиофобным относятся такие термодинамически неустойчивые системы, как гидрозоли металлов, сульфидов и др., т. е. собственно коллоиды. **Л.**, подобно *лио-*

фильности, определяется величиной свободной энергии связи вещества или поверхности тела, напр. дисперсной фазы с растворителями различной полярности, поэтому эти свойства можно оценить соответствующим тепловым эффектом. Между величиной теплового эффекта и хим. природой твердого вещества и жидкости существует связь, выражаемая коэфф. *фильности* β , представляющим собой отношение теплоты смачивания одного и того же твердого вещества в полярной (Q_1) и в неполярной (Q_2) жидкостях, т. е. $\beta = \frac{Q_1}{Q_2}$. Для лиофильных поверх-

ностей $\beta > 1$, для лиофобных $\beta < 1$. Природу твердой поверхности можно изменить, превратив лиофильную поверхность в лиофобную (*лиофобизация*), и наоборот — лиофобную в лиофильную (*лиофилизация*). Для этого поверхность твердого тела покрывают адсорбционным (см. *Адсорбция*) слоем поверхностно-активных веществ. В этом случае, вследствие ориентации молекул в адсорбционном слое, на поверхности происходит изменение угла смачивания, т. е. меняется ее *фильность*. **Л.** имеет важное значение при эксплуатации порошков, волокнистых и др. материалов.

Лит.: Григоров О. Н. [и др.]. Руководство к практическим работам по коллоидной химии. М.—Л., 1964; Воецкий С. С. Курс коллоидной химии. М., 1964; Писаренко А. И., Поспелова К. А., Яковлев А. Г. Курс коллоидной химии. М., 1969; Захарченко В. П. Коллоидная химия. М., 1974. Р. В. Кучер, Б. Т. Лапан.

ЛИПАРИТ {от назв. Липарских островов (Lipari) в Тирренском море, принадлежащих Италии} — кайно-типная вулканическая порода, эффузивный аналог *гранита*. **Л.** — плотные, реже пористые породы со стекловатой основной массой розового, белого, серого, иногда зеленоватого, голубоватого или почти черного цвета и порфиоровыми вкраплениями *кварца*, кислого *плагиоклаза*, калиевого *полевика*, изредка *биотита*, *пироксенов* или *роговой обманки*. В некоторых разновидностях **Л.** основная масса отличается *флюидальной* или *полосчатой*

текстурой; такая порода имеет как бы слоистое строение и характеризуется тонкоплитчатой отдельностью. Встречаются Л. со сферолитами радиально-лучистого строения. Л. с особенно большим количеством порфировых вкрапленников наз. невадитами. Стекловатые разности Л. без вкрапленников (липаритовые стекла) наз. гиазוליпаритами, витролипаритами или фельзитами. Разновидности липаритовых стекол: обсидиан — серая, серовато-черная или черная порода со стекляннным блеском и характерным раковистым изломом, просвечивающая по краям (см. также *Обсидиан*); пехштейн — черная, красная, желтая, бурая, зеленоватая, реже белая порода со смоляным блеском; перлит — серая, голубовато- или желтовато-серая порода с восковым блеском и характерной перлитовой отдельностью, обусловленной наличием скорлуповатых шариков среди стекловатой массы (см. также *Перлит*); пемза — белая, светло-серая, желтоватая или красноватая очень легкая порода с пенистым, иногда трубчатым строением и матовым или шелковистым блеском в изломе (см. также *Пемза*). Палеотипными аналогами Л., в которых несколько разложенное стекло претерпело *перекристаллизацию*, являются липаритовые (риолитовые) порфиры. Разновидность липаритовых порфиров — кварцевые порфиры, содержащие в виде вкрапленников

только кварц. Хим. состав Л. (ср. из 60 анализов) (%): SiO_2 — 72,97; TiO_2 — 0,20; Al_2O_3 — 13,99; Fe_2O_3 — 1,24; FeO — 0,92; MnO — 0,07; MgO — 0,43; CaO — 1,26; Na_2O — 3,42; K_2O — 4,15; H_2O — 1,29; P_2O_5 — 0,06. Плотность 2,14—2,59 г/см³. Сопротивление раздавливанию 1300—1800 кгс/см². Л. и липаритовые стекла известны только в районах проявления сравнительно молодого вулканизма. Л. используют для покрытия дорог, произв-ва щебня, а разности с плитообразной отдельностью — как строительный камень. Л., пригодные для полирования, идут на подделки.

Лит.: Лучицкий В. И. Петрография, т. 2. М.—Л., 1949; Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., 1961; Соловьев С. П. Химизм магматических горных пород и некоторые вопросы петрохимии. Л., 1970.

К. Е. Есипчук.

ЛИТАЯ СТАЛЬ — сталь, используемая в литом состоянии без улучшения деформированием. Применяется с конца 19 в. Отличается от *деформируемой стали* большей физ. и хим. неоднородностью и, следовательно, более низкими пластическими св-вами и *ударной вязкостью* (табл.). Л. с. содержит, кроме железа и углерода (до 2%), сопутствующие примеси (серу, фосфор, кислород, азот и водород) и специально вводимые раскисляющие (например, марганец, кремний, алюминий), микролегирующие (цирконий, титан, церий и др.) и легирующие (хром, никель, молибден и т. п.) элементы. Прочностные и пластические св-ва, а так-

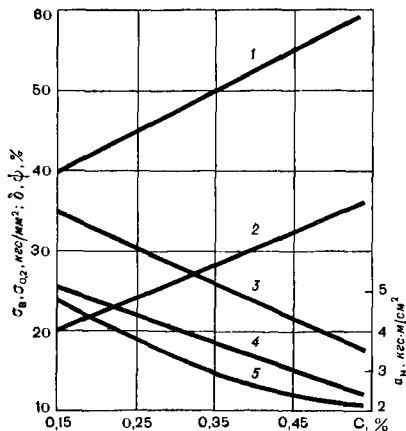
Термическая обработка и свойства литых сталей

Марка стали	Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	ψ , %	$\times \frac{a_H}{a_0} \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \times \frac{\text{мм}}{\text{мм}^2}$
35Л	Закалка и отпуск	34	59	23,2	52,0	10,0
		35	59	34,3	74,7	24,7
40ХЛ	Закалка и отпуск	57	74	21,2	42,0	7,9
		59	74	28,6	70,7	15,3
30ХНЛ	Закалка и отпуск	67	31	20,6	48,2	8,6
		64	77	28,0	70,8	15,8
30ДХСНЛ	Закалка и отпуск	68	83	21,8	50,6	10,0
		72	85	23,6	66,8	15,9

Примечание: В числителе — показатели литой стали, в знаменателе — деформируемой.

же ударная вязкость нелегированной стали изменяются с повышением содержания углерода (рис.). Эти св-ва и особенно св-ва эксплуатационные (напр., жаропрочность, износостойкость, коррозионную стойкость) улучшают легированием. Л. с. выплавляют в мартеновских и электрических (дуговых, индукционных) печах, иногда в конверторах. Для получения высококачественной Л. с. используют также электродуговой и индукционный вакуумный, электрошлаковый, плазменный или плазменно-дуговой переплав. Применение вакуумного и плазменного переплава приводит к значительному уменьшению содержания кислорода, азота и водорода. Электрошлаковый переплав дает возможность снижать содержание (кроме газов) серы и фосфора. Уменьшение содержания примесей существенно повышает и стабилизирует пластические и эксплуатационные св-ва стали, ее ударную вязкость. При мартеновском и электрошлаковом производстве св-ва Л. с. улучшают обработкой жидкими синтетическими шлаками (в результате рафинирования) и модифицирующими элементами (в результате более равномерного их распределения). Марки и хим. состав Л. с. приведены в ГОСТах 977—65, 7832—65 и 2176—67.

Зависимость предела прочности на растяжение (1), условного предела текучести при растяжении (2), сужения (3), ударной вязкости (4) и удлинения (5) литой стали от содержания углерода.



Лит.: Металловедение и термическая обработка стали. Справочник, т. 1—2. М., 1961—62; Воинов С. Г. [и др.] Рафинирование стали синтетическими шлаками. М., 1970; Крещановский Н. С., Сидоренко М. Ф. Модифицирование стали. М., 1970; Рафинирующие переплавы. К., 1974.

Ю. З. Бабаскин.

ЛИТЕЙНАЯ БРОНЗА — бронза, отличающаяся хорошими литейными свойствами. По числу легирующих элементов Л. б. подразделяют на двойные и многокомпонентные, по хим. составу — на оловянистые бронзы (в т. ч. художественные) и безоловянистые, или специальные (табл. 1, 2 с. 706—707). Оловянистые Л. б. — с небольшой объемной усадкой (наименьшей по сравнению с др. бронзами), мало чувствительны к перегреву и газонасыщению, их легко сваривать и паять, они не дают искры при ударах, немагнитны, хладостойки (см. Хладостойкость), обладают хорошими антифрикционными свойствами. Относятся они к литейным, хотя жидкотекучесть их значительно ниже жидкотекучести, напр., алюминиевых бронз и кремнистых бронз. Расплавленными оловянистыми Л. б. заполняют песчано-глинистые формы, получая отливки с крупнозернистым зональным строением и повышенной междендритной пористостью. Эти недостатки устраняют комплексным введением добавок ванадия (0,02—0,05%) и бора (0,03—0,04%) или титана (0,05%) и бора (0,05%), что приводит к образованию в расплаве частиц тугоплавких боридов и улучшению мех. св-в. По микроструктуре Л. б. подразделяют на сплавы однофазные (альфа-бронзы) и двухфазные (альфа + эвтектоид альфа + дельта). Оловянистые Л. б., содержащие до 4—5% Sn, являются однофазными сплавами со структурой альфа-твердого раствора сложного состава (в меди, кроме олова, растворены цинк, никель и др. элементы); бронзы, содержащие свыше 6% Sn, относятся к двухфазным сплавам, где количество эвтектоида увеличивается с повышением содержания олова. Фосфор, содержащийся в бронзах некоторых марок (напр., БрОФ10-1), частично

Таблица 1. Химический состав литейных бронз

Марка бронзы	Содержание элементов, %			
	Cu	Sn	Zn	Pb

Оловянистые бронзы

БрОЦСНЗ-7-5-1	Основа	2,5—4,5	6,0—9,5	3,0—6,0
БрОЦСЗ-12-5	»	2,0—4,0	8,0—15	3,0—6,0
БрОЦС5-5-5	»	4,0—6,0	4,0—6,0	4,0—6,0
БрОЦС6-6-3	»	5,0—7,0	5,0—7,0	2,0—4,0
БрОЦС4-4-17	»	3,5—5,5	2,0—6,0	14,0—20,0
БрОЦСЗ,5-6-5	»	3,0—4,0	5,0—7,0	4,0—6,0
БрОС5-25	»	4,0—6,0	—	23,0—27,0
БрО10	»	9,0—11,0	—	—
БрОФ10-1	»	9,0—11,0	—	—
БрОНС11-4-3	»	10,0—12,0	—	3,0
БрХ1	»	4,0—7,0	5,0—8,0	1,0—4,0
БрХ2	»	1,0—5,0	8,0—13,0	1,0—6,0
БрХЗ	»	0,5—3,0	25,0—35,0	1,0—3,0

Безоловянистые бронзы

БрАЖС7-1,5-1,5	Основа	—	—	1,0—1,5
БрАЖН11-6-6	»	—	—	—
БрАЖМц10-3-1,5	»	—	—	—
БрАЖ9-4Л	»	—	—	—
БрАМц10-2	»	—	—	—
БрАМц9-2Л	»	—	—	—
БрСН60-2,5	»	—	—	57,0—63,0
БрС30	»	—	—	27,0—33,0

Марка бронзы	Содержание элементов, %				
	Ni	P	Al	Fe	Mn

Оловянистые бронзы

БрОЦСНЗ-7-5-1	0,5—1,5	—	—	—	—
БрОЦСЗ-12-5	—	—	—	—	—
БрОЦС-5-5-5	—	—	—	—	—
БрОЦС6-6-3	—	—	—	—	—
БрОЦС4-4-17	—	—	—	—	—
БрОЦСЗ,5-6-5	—	—	—	—	—
БрОС5-25	—	—	—	—	—
БрО10	—	—	—	—	—
БрОФ10-1	—	0,8—1,2	—	—	—
БрОНС11-4-3	4,0	—	—	—	—
БрХ1	—	—	—	—	—
БрХ2	—	—	—	—	—
БрХЗ	—	—	—	—	—

Безоловянистые бронзы

БрАЖС7-1,5-1,5	—	—	6,0—8,0	1,0—1,5	—
БрАЖН11-6-6	5,0—6,5	—	10,5—11,5	5,0—6,5	—
БрАЖМц10-3-1,5	—	—	9,0—11,0	2,0—4,0	1,0—2,0

Продолжение табл. 1

Марка бронзы	Содержание элементов, %				
	Ni	P	Al	Fe	Mn

Безоловянистые бронзы

БрАЖ9-4Л	—	—	8,0—10,0	2,0—4,0	—
БрАМц10-2	—	—	9,0—11,0	—	1,5—2,5
БрАМц9-2Л	—	—	8,0—10,0	—	1,5—2,5
БрСН60-2,5	2,25—2,75	—	—	—	—
БрС30	—	—	—	—	—

Примечание: Бронзы марок БрХ1, БрХ2 и БрХ3 — художественные.

Таблица 2. Свойства литейных бронз

Марка бронзы	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	НВ	Усадка, %	Жидкотечность, %
БрОЦСН3-7-5-1	18	8	60	—	50
	21	5			
БрОЦС3-12-5	18	8	60	—	60
	21	5			
БрОЦС5-5-5	15	6	60	2 1,6	— 40
	18	4			
БрОЦС6-6-3	15	6	60	—	—
	18	4			
БрОЦС4-4-17	15	5	60	—	—
	18	6			
БрОЦС3,5-6-5	18	4	60	—	—
	25	10			
БрО10	30	3	80	1,44	20
	20	3			
БрОФ10-1	25—35	3—10	80—100 90—120	1,44	—
	25	6—15			
БрОНС11-4-3	20	4—10	65 75—85	1,40 1,54	54 —
	12—14	4—6			
БрОС5-25	14—18	6—8	45—55 55—65	1,5	40
	30	18			
БрАЖС7-1,5-1,5	40	10	100	—	—
	60	2			
БрАЖН11-6-6	50	20	120	2,4	70
	40	10			
БрАЖМц10-3-1,5	50	12	100	—	—
	40	10			
БрАМц10-2	50	12	110	2,4	70
	40	20			
БрАМц9-2Л	3	5	14	1,7	48
	6	4			
БрСН60-2,5	3	5	14	1,7	48
	6	4			
БрС30	3	5	14	1,7	48
	6	4			

Примечание: В числителе — значения при литье в песчано-глинистые формы, в знаменателе — при литье в кокиль.

растворяется в альфа-твердом растворе и, кроме того, образует фосфид меди Cu_3P . Введение в двойные оловянистые Л. б. никеля (до 1%) способствует измельчению зерна, повышает мех. св-ва и коррозионную стойкость; добавка свинца (более 3%) повышает плотность отливок, улучшает обрабатываемость сплава резанием и его антифрикционные свойства, однако ухудшает мех. св-ва. Добавка железа (до 0,04%) приводит к измельчению зерна, резко задерживает фазовую *перекристаллизацию*. Увеличение содержания железа (свыше 0,04%) значительно ухудшает коррозионные и технологические св-ва сплава. Недостатком оловянистых Л. б. является склонность к обратной *ликвации*, при к-рой на поверхности отливок нередко появляется т. н. «оловянный пот» в виде белых пятен или выделений, содержащих 15—18% Sn. Эти выделения хрупки, состоят в основном из *бета-фазы* и ухудшают качество отливок. Безоловянистые Л. б. отличаются высокой мех. прочностью и коррозионной стойкостью, хорошими антифрикционными св-вами, часто служат заменителями дорогостоящих оловянистых бронз. Безоловянистые алюминиевые бронзы, содержащие 5—7% Al, относятся к однофазным сплавам со структурой альфа-твердого раствора. Алюминиевые бронзы, содержащие 10% Al и больше, при комнатной т-ре относятся к двухфазным сплавам со структурой альфа-твердого раствора и эвтектоида (альфа + гамма). Для улучшения мех. св-в и структуры в алюминиевые бронзы вводят добавки железа, марганца, никеля и др. элементов. Пластичность алюминиевых многокомпонентных бронз повышают *нормализацией* или *закалкой*. Недостатками алюминиевых бронз являются значительная усадка и повышенная склонность к загрязнению окисными пленками, что затрудняет литье. Для повышения твердости и прочности безоловянистых бронз применяют закалку с последующим *отпуском*. Л. б. выплавляют в индукционных печах, в печах типа АЯКС, ДМК и др.

Для раскисления бронз применяют фосфористую медь (0,3—0,4% от массы сплава), для дополнительного раскисления и дегазации перед разливкой в сплав вводят магний (не более 0,1%). Оловянистые Л. б. применяют для изготовления арматуры и сложного фасонного литья, деталей, эксплуатируемых при повышенном давлении и т-ре (напр., направляющих втулок выхлопных клапанов авиадвигателей), для отливки подшипников, шестерен и др. Художественную бронзу используют для декоративного литья, для отливки монументов, памятников. Безоловянистые Л. б. применяют для отливки высоконагруженных деталей простых форм. Хим. составы мех. св-ва Л. б. регламентируют ГОСТы 613—65 и 493—54.

Лит.: Буталов В. А. Заменители дефицитных металлов и сплавов. М.—Л., 1955; Сучков Д. И. Медь и ее сплавы. М., 1967; Мальцев М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М., 1970; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

В. В. Казарцев.

ЛИТЕЙНАЯ ЛАТУНЬ — латунь, отличающаяся хорошими литейными свойствами. Применяется с древнейших времен. Обладает сравнительно высокими мех. св-вами и *коррозионной стойкостью* на воздухе, в морской и пресной воде. Л. л. по числу легирующих элементов подразделяют на двойные и многокомпонентные. Для *легирования* Л. л. применяют кремний, алюминий, железо, свинец, никель и олово. Эти элементы (кроме свинца) улучшают литейные, механические и антифрикционные св-ва двойных латуней, повышают их коррозионную стойкость (табл. 1, 2). Свинец улучшает антифрикционные св-ва и обрабатываемость резанием. Л. л.

Зависимость температуры плавления (1) и температуры литья (2) литейных латуней от содержания цинка.

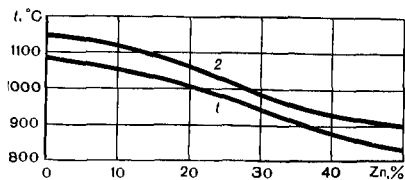


Таблица 1. Химический состав литейных латуней

Марка латуни	Содержание элементов, %								
	Cu	Al	Fe	Mn	Si	Sn	Pb	Ni	Zn
ЛК80-3Л	78—81	—	—	—	3,0—4,5	—	—	—	Остальное
ЛКС80-3-3	77—81	—	—	—	2,5—4,5	—	2,0—4,0	—	»
ЛАЖМц66-6-3-2	64—68	4—7	2,0—4,0	1,5—3,0	—	—	—	—	»
ЛА67-2,5	66—68	2—3	—	—	—	—	—	—	»
ЛАЖ60-1-1Л	58—61	0,8—1,5	0,8—1,5	0,1—0,6	—	0,2—0,7	—	—	»
ЛМцНЖА60-2-1-1-1	58—62	0,5—1,0	0,5—1,1	1,5—2,5	—	—	—	0,5—1,5	»
ЛС59-1Л	57—61	—	—	—	—	—	0,8—2,0	—	»
ЛМцОС58-2-2-2	57—60	—	—	1,5—2,5	—	1,5—2,5	0,5—2,5	—	»
ЛМцС58-2-2	57—60	—	—	1,5—2,5	—	—	1,5—2,5	—	»
ЛМцЖ55-3-1	53—58	—	0,5—1,5	3—4	—	—	—	—	»
ЛВOC	60—75	—	—	—	—	0,5—2	1,3	—	»

Таблица 2. Свойства литейных латуней

Марка латуни	D, г/см ³	t _{пл} , °C	λ, ккал/см·сек·град	ρ, ом·мм ² /м	σ _B , кгс/мм ²			δ, %	HВ	α·10 ⁶ , град ⁻¹	Линейная усадка, %	Обрабатываемость резанием по сравнению с обрабатываемостью латуни марки ЛС63-3, принятой за 100 %
					При литье							
					в песчаные формы	в кокиль	центробежном					
ЛК80-3Л	8,5	900	0,2	0,2	25—35	30—50	30—50	17—25	100—110	17,0	1,7	30
ЛКС80-3-3	8,6	900	0,2	0,2	25—30	30—40	35—40	17—25	90—100	17,0	1,7	50
ЛАЖМц66-6-3-2	8,5	900	0,12	—	55—65	60—70	65—75	6—10	150—170	19,3	1,8	25
ЛА67-2,5	8,5	995	0,27	0,08	26—34	35—45	—	12—18	85—95	—	1,25	30
ЛАЖ60-1-1Л	8,5	904	0,27	0,09	34—44	40—48	—	18—25	85—95	21,6	1,7	30
ЛМцНЖА60-2-1-1	8,4	916	—	—	—	38—46	—	15—20	105—115	—	1,7	20
ЛС59-1Л	8,5	885	0,026	0,068	—	35—40	—	35—45	80—90	20,1	2,2	80
ЛМцОС58-2-2-2	8,5	890	0,26	0,12	30—40	30—35	—	6—10	90—100	—	1,8	35
ЛМцС58-2-2	8,6	885	0,11	0,11	30—40	35—45	—	5—10	85—95	—	2,0	—
ЛМцЖ55-3-1	8,3	870	0,24	0,12	40—55	55—65	—	—	100—110	22,0	1,6	25
ЛВОС	8,6	920	0,27	0,09	25—30	—	—	20—25	70—80	—	1,8	—

выплавляют из первичных и вторичных металлов. Фасонные отливки из Л. л. получают литьем в песчаные формы, в кокиль, под давлением и центробежным способом. Л. л. обладают малой линейной усадкой (1,6—2,2%) и хорошей *жидкотекучестью*, что позволяет получать из них отливки сложной конфигурации. Изделия из Л. л. отливают при т-рах, больше т-ры плавления на 30—80° С (рис. с. 708). Л. л. применяют для отливки деталей арматуры, эксплуатируемой при повышенном давлении и т-рах до 300° С, для изготовления подшипников, втулок, деталей морских судов и др. Хим. состав Л. л. определяет ГОСТ 17711—72.

Лит.: Справочник машиностроителя, т. 6. М., 1964; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. *Промышленные цветные металлы и сплавы*. М., 1974.

Г. Е. Шпичинский, Е. С. Шпичинский.

ЛИТЕЙНЫЕ МАТЕРИАЛЫ — металлические и неметаллические материалы, физико-хим. и технологические свойства к-рых используют для литья изделий. Л. м. подразделяют на литейные сплавы, шихтовые, формовочные и огнеупорные материалы. **Л и т е й н ы е с п л а в ы** представляют собой материалы, полученные сплавлением металлических или неметаллических компонентов. Металлические сплавы содержат, кроме осн. металла, *легирующие материалы*; в них вводят также небольшое количество *модифицирующих материалов*. В зависимости от металлургических особенностей плавки в сплавах содержатся примеси, в большинстве случаев нежелательные (напр., сера и фосфор). К наиболее распространенным металлическим относятся *железуглеродистые сплавы*, на долю к-рых приходится 95—98% литых изделий. Широко применяют также цветные сплавы, к-рые подразделяют на тяжелые (*меди сплавы, никеля сплавы, кобальта сплавы, олова сплавы, свинца сплавы, цинка сплавы*, подшипниковые сплавы), благородные (*золота сплавы, серебра сплавы, платины сплавы*), легкие сплавы и *тугоплавкие сплавы*. Подшипниковые сплавы

выпускают на основах оловянной (см. *Баббит*), свинцовой (БС, БК), оловянносвинцовой (Б18, БН, БГ, Б6), кадмиевой, цинковой и т. д. (см. также *Антифрикционные материалы*). Платины сплавы представляют собой твердый раствор в платине легирующих материалов, из к-рых наиболее часто используют родий, палладий, рутений, никель и кобальт. Эти сплавы характеризуются высокими *т-рами плавления, коррозионной стойкостью и износостойкостью*. Их применяют для изготовления термопар, разрывных и скользящих контактов, деталей приборов ответственного назначения и др. К неметаллическим сплавам относятся *пептургические материалы, ситаллы, шлакоситаллы* и др. **Ш и х т о в ы е м а т е р и а л ы** — смеси сырых материалов, подлежащих переработке в плавильных печах. Шихтовые материалы состоят из металлической шихты и *флюсов*. Металлическая шихта для литья чугуна состоит из *доменного чугуна, природнолегированного чугуна*, вторичных металлов (в виде литников и бракованных изделий, чугунного и стального лома, чугуновой и стальной стружки), *ферросплавов*. В металлическую шихту для литья стали дополнительно вводят окислители (железную и марганцевую руды, кузнечную *окалину*) и *раскислители*. **Ф о р м о в о ч н ы е м а т е р и а л ы**, из к-рых изготавливают формы и стержни для получения литых изделий, подразделяют на основные и вспомогательные. К осн. материалам относятся формовочные пески и связующие материалы. В формовочных песках содержатся глинистой составляющей (зерен диаметром менее 22 мкм) — до 50%. По содержанию глинистой составляющей, *двуокси кремния* и вредных примесей различают формовочные пески 11 классов: обогащенные кварцевые (О61К, О62К, О63К), кварцевые (1К, 2К, 3К, 4К), глинистые (тощие Т, полужирные П, жирные Ж, очень жирные ОЖ). В зависимости от зернового состава эти пески подразделяют на восемь групп: грубые — 063, очень крупные — 04, крупные — 0315, средние — 025, мелкие — 016, очень мелкие — 0,1, тонкие — 0063, пылевид-

— 005 (в соответствии со средним номером трех смежных сит стандартного набора, на к-рых при просеивании остается наибольшая сумма остатков — осн. фракция). Природный песок из-за повышенного содержания вредных примесей мало пригоден для изготовления форм, поэтому его обогащают. В обогащенных песках нет крупных частиц, а мелких содержится меньше, чем в природных. Обогащенные пески характеризуются низким содержанием окислов железа (не более 0,3%) и глинистых минералов (не более 0,1%), высоким содержанием кварца и полезных минералов (не менее 99%). Термостойкость обогащенного песка выше, а расход на тонну отливок на 15 — 20% меньше, чем природного. Применение обогащенных песков позволяет увеличивать текучесть и газопроницаемость формовочных смесей. Связующие материалы подразделяют на высыхающие, затвердевающие и химические. Упрочнение высыхающих материалов (напр., глины) происходит без хим. превращений — вследствие удаления растворителя — и является обратимым. Затвердевающие материалы (напр., соли) затвердевают обратимо, если нагрев осуществляется ниже т-ры начала выделения летучих. Упрочнение хим. материалов (напр., цемента) в большинстве случаев связано с гидролизом и сложными хим. диффузионными процессами и носит необратимый характер. Формовочные глины подразделяют на 24 марки, различающиеся по минералогическому составу, пределу прочности на сжатие и термостойкости. Бентониты, обладающие более высокой (в два — три раза) по сравнению с глинами связующей способностью, используют при формовании из сырых масс. Их применение дает возможность уменьшать содержание глины в формовочных смесях, повышать газопроницаемость этих смесей. В качестве связующего материала широко используют также жидкое стекло, скорость упрочнения к-рого регулируют добавкой 10—40%-ного раствора едкого натра. Вспомогательными формовочными материалами служат структурообразователи, растворители, разбавители и др. Для улучшения качества и придания по-

верхности отливки заданных св-в на поверхность форм и стержней наносят покрытия (в виде суспензий) и припылы (в виде порошков). В зависимости от кристаллохимических св-в покрытия классифицируют на химически инертные, модифицирующие и легирующие, а в зависимости от теплофизических св-в — на теплопроводные, теплоизоляционные и термостойкие. Химически инертные покрытия характеризуются макс. значением контактного угла смачивания жидким металлом, отсутствием адсорбционной, кристаллизационной и конституционной воды, а также стабильностью св-в при высоких т-рах. Их готовят на основе стабилизированных огнеупорных дисперсных порошков, напр. цирконовых. Для приготовления этих покрытий широко применяют также пиррофилит. Модифицирующие покрытия способствуют измельчению структуры поверхностного слоя отливки в результате активизации процесса зародышеобразования кристаллов. Легирующие покрытия содержат элементы, активно диффундирующие в поверхностный слой отливки. Теплопроводные и теплоизоляционные покрытия, предназначенные для регулирования скорости охлаждения и затвердевания отливок, готовят на основе наполнителей с особыми теплофизическими св-вами. В состав теплоизоляционных покрытий вводят теплоизоляционные материалы в природном состоянии или после химико-термической обработки (вспучивания, выщелачивания и др.). Теплоизоляционные покрытия на основе перлита и волластонита устраняют отбел и науглероживание чугунных отливок, исключают применение графита и сажи. Широко используют покрытия металлических форм на основе фтористого кальция, бадделита и окиси бора для произ-ва отливок из особо чистых и химически активных металлов и сплавов. Внедрение таких покрытий взамен коллоидального графита и сажевой колоты увеличивает (в 10—12 раз) стойкость форм и улучшает санитарно-гигиенические условия труда. Структурообразователи, наиболее эффективным

из к-рых является альгинат натрия, применяют иногда для устойчивости суспензий из грубодисперсных и тяжелых формовочных материалов. При отливке чугунных изделий в качестве присыпа применяют порошкообразный графит, а при отливке стальных деталей — маршаллит, циркон и др. огнеупорные порошки. Огнеупорные материалы в виде кирпичей, фасонных и крупноблочных изделий, порошков, обмазок и т. п. служат для футеровки металлургических печей, ковшей и др. оборудования, эксплуатируемого при высоких т-рах (см. также *Огнеупорные материалы*).

Лит.: Цибрик О. М. Нові формувальні матеріали. К., 1962; Берг П. П. Формовочные материалы. М., 1963; Новые материалы противопригарных, термостой-

ких, теплоизоляционных и специальных покрытий литейных форм. К., 1963; Гуляев Б. Б., Магницкий О. П., Демидова А. А. Литье из тугоплавких металлов. М.—Л., 1964; Арбузов Б. А. [и др.]. Цветное литье. Легкие сплавы. М., 1966; Леви Л. И., Кантеник С. К. Литейные сплавы. М., 1967; Хан Б. Х. [и др.]. Затверждение и кристаллизация каменного литья. К., 1969.

А. Н. Цибрик.

ЛИТЕЙНЫЙ ЧУГУН — чугун, отличающийся хорошими литейными свойствами. Характеризуется серым цветом излома, незначительной *усадкой*, высокими *жидкотекучестью* и *износостойкостью*, его легко обрабатывать на металлорежущих станках. Л. ч. подразделяют на *природнолегированный чугун*, чугун коксовый, чушковый, чугун специальный чушковый и чугун чушковый, рафинированный магнием или магниисодержащими смесями. Маркируют чугун в зависимости от хим. состава,

Таблица 1. Химический состав литейных (специальных чушковых) чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %				
	Si	Mn	P	S	Cr
			не более		
КК	1,00—1,50	0,20—0,60	0,10	0,03	0,04
КД1	0,71—1,50	0,10—0,40	0,15	0,03	0,04
КД2	0,15—0,70	0,10—0,30	0,15	0,03	0,04
ВК1	0,50—1,00	0,20—0,60	0,40	0,03	0,04
ВК2	0,10—0,50	0,20—0,60	0,40	0,03	0,04
ВД1	0,81—1,30	0,20—0,80	0,40	0,06	0,04
ВД2	0,30—0,80	0,20—0,80	0,40	0,06	0,04
ЧК	0,50—1,00	0,50—1,00	0,20—0,35	0,07	0,10
ЛКА	2,76—3,75	0,50—0,90	0,60—0,90	0,025	—

Таблица 2. Химический состав литейных (чушковых, рафинированных магнием или магниисодержащими смесями) чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %						
	C	Si	Mn		P		S, не более
			Группа чугуна		Класс чугуна		
			I	II	A	B	
ЛКРО	3,40—3,90	3,26—3,75	До 0,50	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	0,01
ЛКР1	3,50—4,00	2,76—3,25	До 0,50	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	0,01
ЛКР2	3,60—4,10	2,26—2,75	До 0,50	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	0,01
ЛКР3	3,70—4,20	1,76—2,25	До 0,50	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	0,01
ЛКР4	3,90—4,40	1,26—1,75	До 0,50	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	0,01
ЛКР5	4,00—4,50	0,75—1,25	До 0,50	0,51—0,90	До 0,10	0,11—0,20	0,01

принимая за основу деления содержания кремния, влияющего на графитизацию чугуна. Содержание серы (вредной примеси) всегда определяется по верхнему пределу. Л. ч. коксовый чушковый выпускают семи марок (от ЛК1 до ЛК7), содержание кремния в к-рых снижается от 3,21—3,6 (марка ЛК1) до 0,81—1,20% (марка ЛК7). По содержанию марганца, фосфора и серы его подразделяют соответственно на группы (I, II, III), классы (А, Б, В, Г, Д) и категории (I, II, III, IV, V). В чугуне первой группы содержание марганца не должно превышать 0,5%, второй — 0,9, третьей — 1,5%. В чугуне класса А фосфора содержится не более 0,08%, класса Д — 0,71—1,20%. В чугуне первой категории допускается 0,02% S, пятой — 0,06% S. Отклонение по содержанию углерода не является браковочным признаком. Литейный коксовый чугун поставляют в виде чушек (массой не более 20 кг, а для специализированных предприятий 18 кг) с одним или двумя пережигами (для измельчения при плавке). После переплава в вагранках или электр. печах из него изготовляют фасонные отливки. Л. ч. специальный чушковый выпускают девяти марок (табл. 1), поставляют в виде чушек массой не более 45 кг. Используют для произ-ва ковкого чугуна, отливки валков прокатных станов, колес с отбеленным ободом. Л. ч. чушковый, рафинированный магнием или магниесодержащими смесями, выпускают шести марок (табл. 2), подразделяя по содержанию марганца и фосфора соответственно на группы (I, II) и классы (А, Б). Выплавляют из железной руды Криворожского месторождения. По желанию потребителей чугун класса А поставляют с нормированным содержанием примесей. Литейный доменный чугун, рафинированный магнием, — перспективный шихтовый материал. Его используют не только для получения высокопрочного и серого чугуна: замена чушковым рафинированным чугуном обычного передельного чугуна при выплавке стали марки «Армко» увеличивает выход стали в 1,4 раза. Марки, хим. состав литейного коксового чушкового, литейного специального чушкового и литей-

ного чушкового рафинированного чугунов приведены соответственно в ГОСТах 4832—72, 4834—49 и 5.1751—72.

Лит.: Павлов М. А. *Металлургия чугуна*, ч. 1—3. М.—Л., 1948—51; Богачев И. Н. *Металлография чугуна*. Свердловск, 1962; Бунин К. П., Малишочка Я. Н., Таран Ю. Н. *Основы металлографии чугуна*. М., 1969; Воронова Н. А., Могилицев О. А., Штейн Г. Н. *Качество доменного литейного чугуна и пути его повышения*. К., 1972. В. И. Литовка.

ЛИТИЙ (Lithium; от греч. λίθος — камень), Li — хим. элемент I группы периодической системы элементов; ат. н. 3, ат. м. 6,941. Серебристо-белый металл. В соединениях проявляет степень окисления +1. Природный Li — смесь стабильных изотопов ${}^6\text{Li}$ (7,42%) и ${}^7\text{Li}$ (92,58%). Получены радиоактивные изотопы ${}^8\text{Li}$ и ${}^9\text{Li}$ с периодом полураспада соответственно 0,841 и 0,168 сек. Л. открыл (1817) швед. химик И.-А. Арфведсон в минерале петалите. Металлический Л. впервые получил (1818) англ. химик и физик Г. Дэви электролизом окиси лития. Содержание Л. в земной коре $3,2 \cdot 10^{-3}\%$. Л. в свободном состоянии не встречается из-за большой хим. активности. Входит в состав мн. минералов, слагающих горные породы; содержится в минер. источниках, морской воде, озерах, почвах, каменных углях, в живых организмах и растениях. Важнейшие минералы, содержащие Л.: *сподумен*, *петалит* $\text{LiAl}[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$, *амблигонит* $\text{LiAl}[\text{PO}_4]$ (F, OH), *литиевые слюды* — *цинцивальдит* и *лепидолит*. Кристаллическая решетка Л. объемноцентрированная кубическая с периодом $a = 3,5023 \text{ \AA}$ (т-ра 20° С). При низкой т-ре наблюдаются др. модификации. Атомный радиус $1,57 \text{ \AA}$, ионный радиус Li^+ равен $0,68 \text{ \AA}$. Л. — самый легкий металл; плотность (т-ра 0° С) $0,539 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 180,54^\circ \text{ С}$, $t_{\text{кип}} 1327^\circ \text{ С}$; температурный коэфф. линейного расширения $5,6 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$; коэфф. теплопроводности (т-ра 0° С) $0,17 \text{ кал/см} \times \text{сек} \cdot \text{град}$; теплоемкость (т-ра 0° С) $0,79 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$. Металлический Л. обладает высокой электро-

проводностью. Удельное электрическое сопротивление (т-ра 0°C) $8,12 \text{ мком} \cdot \text{см}$. Металлический Li парамагнитен, соединения его диамагнитны. Пары Li в основном одноатомны, окрашены в ярко-красный цвет, летучие соединения Li окрашивают пламя горелки в карминово-красный цвет. Li — мягкий металл, в холодном состоянии легко режется ножом. Отличается пластичностью и вязкостью, легко протягивается через фильеры, прокатывается в ленту. Твердость по Моосу — 0,6 (тверже др. щелочных металлов); давление истечения (т-ра $15\text{—}20^\circ\text{C}$) $1,7 \text{ кгс/мм}^2$; модуль упругости 500 кгс/мм^2 ; предел прочности на растяжение $11,8 \text{ кгс/мм}^2$; относительное удлинение $50\text{—}70\%$. Металлический Li на воздухе покрывается темносерым налетом — слоем продуктов взаимодействия с азотом, кислородом и влагой воздуха. Состав такого слоя зависит от чистоты самого Li , состояния его поверхности, т-ры окружающей среды и влажности. Если влажность воздуха не превышает 80% , Li медленно реагирует с азотом, образуя нитрид Li_3N , и лишь частично окисляется. В более влажном воздухе образуется в основном гидроокись LiOH . Т-ра вспышки технического Li 200°C , а рафинированного 640°C . Li горит с образованием окиси Li_2O . С сухим кислородом при низкой т-ре не реагирует. Взаимодействие Li с водой происходит более спокойно по сравнению с др. щелочными металлами — без плавления и самовозгорания с образованием гидроокиси LiOH и выделением водорода. При непосредственном взаимодействии расплавленного металла с водородом получается гидрид LiH . С кислородом Li образует окись Li_2O и перекись Li_2O_2 (косвенным путем). С азотом взаимодействует при т-ре $250\text{—}460^\circ\text{C}$ с образованием нитрида Li_3N . При взаимодействии с галогенами дает галогениды LiF , LiCl , LiBr и LiI . Известно несколько халькогенидов — соединений Li с серой, селеном и теллуром. Нагревание Li с серой приводит к получению сульфида Li_2S — зеленовато-желтого кристалличес-

кого вещества. При действии элементарного селена на раствор металлического Li в жидком аммиаке при т-ре $\text{—}33^\circ\text{C}$ выделяется аммиакат селенида Li , к-рый при нагревании в вакууме при т-ре 150°C переходит в селенид Li_2Se — кристаллы красно-коричневого цвета. С теллуром Li образует бесцветные кристаллы теллурида Li_3Te . С углеродом Li при нагревании дает карбид Li_2C_2 — бесцветные хрупкие кристаллы. Известны соединения Li с кремнием Li_4Si , Li_3Si и Li_2Si , с фосфором Li_3P , Li_2P , LiP и Li_2P_5 , с мышьяком Li_3As и LiAs . Li из его соединений получают электролизом и вакуумно-термическим восстановлением. При электролизе используют эвтектическую смесь хлоридов лития и калия, плавящуюся при т-ре 361°C . Электролиз ведут при т-ре $400\text{—}460^\circ\text{C}$. Получающийся металл содержит около $0,3\text{—}4\%$ Na и K , а также небольшое количество примесей меди, железа, кальция, кремния, алюминия, магния и хлора. Для получения особо чистого металла применяют эвтектическую смесь хлорида и бромиды лития. Электролиз в этом случае ведут в охлаждаемых водой металлических ваннах. При вакуумно-термическом восстановлении используют окись Li , моноалюминат Li , сподумен. В качестве восстановителей применяют кремний (при наличии окиси кальция), алюминий или ферросилиций (при наличии карбоната кальция). Соединения и сплавы Li находят применение в технике и энергетике. При бомбардировке нейтронами изотоп ^6Li превращается в сверхтяжелый водород — тритий, к-рый используют, в частности, в атомных батареях. Жидкий металлический Li применяют как теплоноситель в ядерных реакторах, а некоторые его соединения используют в защитных экранах этих реакторов. Водородные соединения Li — перспективные материалы для получения высококалорийного топлива для сверхскоростных самолетов, космических кораблей, подводных лодок и др. В металлургии Li его соединения и литийсодержащие сплавы используют для раскисления, модифицирования, придания сплавам пластичности и прочности, высокой корро-

аэрон и склерон, содержащие около 0,1% Li); для улучшения антифрикционных св-в сплавов наряду с улучшением их мех. характеристик (свинцовокальциевые подшипниковые сплавы, содержащие около 0,04% Li); для улучшения литейных св-в чугуна; для дегазации и десульфурации расплавов цветных металлов и их сплавов. Стсрат Л. используют в произ-ве т. н. пластичных смазок, имеющих высокую т-ру плавления (170—200° С) и одновременно водостойких. Фосфорные и силикатные минералы Л., а также его соединения (алюминат, карбонат, кобальтит, титанат, фторид и др.) находят применение при произ-ве керамики и стекла.

Лит.: Филианд М. А., Семенов Е. И. Свойства редких элементов (Справочник). М., 1964; Плющев В. Е., Степин Б. Д. Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия. М., 1970; Шпильрайн Э. Э. [и др.]. Теплофизические свойства щелочных металлов. М., 1970; Справочник химика, т. 1. Л., 1971; Некрасов В. В. Основы общей химии, т. 2. М., 1973; Ремин Г. Курс неорганической химии, т. 1. Пер. с нем. М., 1972.

П. П. Пугачевич.

ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИЕ СПЛАВЫ — сплавы, в состав которых входит литий. С некоторыми металлами (магнием, цинком, алюминием) литий образует *твердые растворы* (значительной концентрации), со многими — интерметаллические соединения (LiAg, LiHg, LiMg и др.). Большинство интерметаллических соединений весьма тверды и тугоплавки, незначительно изменяются на воздухе, некоторые из них — *полупроводниковые материалы*. Осн. назначение Л. с. — использование в качестве лигатур. Литиновые лигатуры (кремний — литий, алюминий — литий, железо — кремний — литий) и литийкальциевые сплавы (30% Li, 70% Ca) служат присадками к углеродистым, хромистым, аустенитным хромоникелевым и др. сталям, а также модификаторами литой малолегированной *быстро-режущей стали*. В этом случае используют хорошее раскисляющее действие лития, его способность повышать *жидкотекучесть*, мех. свойства и *коррозионную стойкость* сплавов. Оптимальные результаты дает добавка 0,03% Li. Ли-

тиновые лигатуры алюминий — литий, медь — литий, магний — литий и др. повышают коррозионную стойкость и улучшают мех. св-ва *алюминия сплавов*, модифицируют структуру *силуминов* (см. также *Лигатура, Модифицирующие материалы*). Алюминиевые сплавы, содержащие 0,1% Li, 2—4% Cu и 12—13% Zn, легки, обладают высокой прочностью, пластичностью, стойки против коррозии, перспективны для авиа- и автомобилестроения, при изготовлении рам вагонов. Добавка лития (0,04%) повышает *твердость* и понижает коэффициент трения свинцовокальциевых антифрикционных сплавов (см. также *Баббит*).

Лит.: Шамрай Ф. И. Литий и его сплавы. М., 1952; Плющев В. Е., Степин Б. Д. Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия. М., 1970. Н. Г. Дешевых, А. Г. Щукин.

ЛИТОГРАФСКИЙ КАМЕНЬ (от греч. λίθος — камень и γραφω — пишу) — осадочная плотная карбонатная порода (слабоглинистый известняк, реже доломит). Состоит преим. из CaCO_3 и небольших примесей SiO_2 и Al_2O_3 . В качестве примесей содержатся также окислы и гидроксиды железа и углестое вещество, от к-рых зависит окраска камня (желтоватая, красноватая, синевато-серая). Хим. состав (Алгетское месторождение, Груз. ССР) (%): SiO_2 — 4,36 ÷ 7,45; Al_2O_3 — 0,56 ÷ 1,64; Fe_2O_3 — 0,21 ÷ 0,86; CaO — 48,66 ÷ 52,30; MgO — 0,21 ÷ 1,80; MnO — 0,29 ÷ 0,53; SO_2 — 0,34 ÷ 0,85; Na_2O — 1,09; K_2O — 0,29; потери при прокаливании — 38,21—40,86%. Л. к. отличается микро- или скрытокристаллической однородной структурой (размер зерен обычно не превышает 0,03 мм). Иногда наблюдается реликтовая органогенная структура (вследствие наличия мелких раковин, замещенных кальцитом). Текстура массивная. Л. к. свойственна плитчатая отдельность. Характерная особенность породы — раковистый и плоско-раковистый излом. Цвет белый, голубой, серовато-желтый, светло- и темно-коричневый. Плотность 2,69—2,73 г/см³; объемная масса 2,43—2,60 г/см³; пористость 4,35—8,37%; предел прочности

на сжатие $766-3486 \text{ кгс/см}^2$; *водопоглощение* $1,68-3,85\%$. Л. к. — порода хим. происхождения; образуется обычно в морях с норм. соленостью, реже — в пресных водоемах. Л. к. удерживает границы рисунка и красок, вследствие чего используется на небольших полиграфических предприятиях и для автолитографских работ. Из прямоугольных плит толщиной $8-14 \text{ см}$ изготовляют литографские формы. Л. к. должен быть достаточно компактным, плотным и не растрескиваться под давлением типографского пресса. Лит.: Геология Азербайджана. Нерудные полезные ископаемые. Баку, 1957; Природные ресурсы Грузинской ССР, т. 2. Неметаллические полезные ископаемые. М., 1959. И. М. Афанасьев.

ЛОКАЛЬНЫЙ РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ (лат. *localis* — местный) — то же, что и *микрорентгеноспектральный анализ*.

ЛОУРЕНСИЙ [Lawrencium; по имени амер. физика Э. Лоуренса (Е. Lawrence)], Lr — искусственно полученный радиоактивный химический элемент; ат. н. 103; относится к *актиноидам*. Для Л. характерна степень окисления $+3$. В 1958—61 амер. ученые А. Гиорсо и др. пытались синтезировать в Беркли (США) 103-й элемент, дав ему название «лоуренсий», однако их данные не подтвердились. Впервые Л. (изотоп ^{256}Lr) получили (1965) в Дубне (СССР) сов. физики Е. Д. Донец, В. А. Щеголев и А. А. Ермаков при облучении мишени из изотопа ^{243}Am ускоренными ионами ^{18}O . Период полураспада изотопа ^{256}Lr равен 35 сек. В 1969 в Дубне впервые получен изотоп ^{259}Lr (период полураспада около 20 сек) и изучены хим. св-ва Л. Хлорид LrCl_3 мало летуч, подобен *хлоридам* редкоземельных элементов, экстрагируется Lr^{3+} из водных растворов теноилтрифторацетона. Изотопы Л. с массовыми числами 257—260 и периодами полураспада соответственно 0,6; 4,2; 5,4 сек и 3 мин получены (1971) в Беркли облучением мишеней из калифорния, берклия в кюрия ускоренными ионами бора, азота и кислорода.

Лит.: Флеров Г. Н., Друин В. А., Плева А. А. Устойчивость тяжелых

ЛУЖЕНИЕ — нанесение на поверхность металлических изделий тонкого слоя олова. Оловянные покрытия (толщиной $0,2-10 \text{ мкм}$) защищают изделия из стали, меди, *меди сплавов* и др. от *коррозии металлов*. На др. изделия, напр. из титана и *титана сплавов*, олово наносит перед *пайкой* мягкими *припоями*, а также для снижения сопротивления деформированию при обработке давлением. В некоторых случаях Л. дает возможность защищать участки стальных изделий от *диффузии* азота при *азотировании*, предохранять медные изделия от разрушающего действия серы при *гуммировании*.

Пористость оловянных покрытий зависит от способа нанесения и толщины слоя олова: напр., при электролитическом и горячем Л. жести при толщине $0,2-2,5 \text{ мкм}$ она составляет от 10 до 1 поры на 1 см^2 поверхности, при толщине более 3 мкм образуется практически беспористое покрытие. Пористость покрытий на изделиях, находящихся во влажной воздушной среде или в различных неорганических средах, должна быть минимальной, поскольку в этих условиях покрытие является катодным и каждая пора становится очагом интенсивной коррозии металла основы. Пористость покрытий, взаимодействующих с растворами многих органических кислот (напр., щавелевой, лимонной, яблочной), вызывает растворение незначительного олова, к-рое является в данных условиях анодным и защищает изделия от коррозии электрохимически. Чтобы затормозить растворение олова и в определенной степени ослабить действие на него органической среды, такие покрытия дополнительно лакируют.

Перед нанесением покрытий поверхность изделий подвергают хим. или электрохим. обезжириванию, промыванию, электрохим. *травлению* и снова промывают в проточной воде. Чаще всего применяют электролитический способ Л., значительно реже — другие способы, например горячий, натиранием, контактный. Электролитическое Л. осуществляют

ют в ваннах электролизерах, где электролитами являются водные растворы или расплавы солей олова (при подводе постоянного тока напряжением 12—24 в). Катодом служит металл основы, аноды изготавливают гл. обр. из растворимого олова марки 01. При осаждении олова на стальную полосу и др. изделия в качестве электролитов используют водные растворы станната натрия — $\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и NaOH или калия — $\text{K}_2\text{SnO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и KOH (щелочные ванны), сернокислого олова — SnSO_4 и H_2SO_4 с органическими добавками (сернокислые ванны) и хлоридов олова — SnCl_2 и NaCl , NaF , KF с органическими добавками (галогенидные ванны). Из-за высокой рассеивающей способности щелочные ванны применяют для осаждения олова на изделия сложной конфигурации. Если полоса жести движется со скоростью 5—10 м/сек, используют агрегаты с фенолсульфоновыми электролитами и органическими добавками. Такие электролиты стабильны; в них ионы Sn^{2+} почти не подвергаются окислению до Sn^{4+} и гидролизу, как в других сернокислых электролитах. Этому препятствуют фенолсульфоновая кислота и гл. обр. органические добавки, к-рые оказывают также значительное влияние на катодную поляризацию и, следовательно, на образование мелкокристаллического покрытия. Примерный состав фенолсульфонового электролита (в г/л): Sn^{2+} — 25 ÷ 40; фенолсульфоновой кислоты (свободной) — 50 ÷ 70; органических добавок:

дигидрооксидифенилсульфона — 4 ÷ 6; монобутилфенилфенолсульфата натрия — 0,1 ÷ 1,0. В процессе электролиза на катоде получают матовый осадок олова, оплавляющийся до металлического блеска при т-ре 250° С. При Л. жести (табл.) оплавленный слой олова пассивируют (см. Пассивирование) в хроматных растворах и промасливают с нанесением тончайшей масляной пленки (0,005 г/м²). Применяют и т. н. блестящее электролитическое Л. в расплавах солей (SnCl_2 , KCl) при т-ре 300—350° С и в водных р-рах с добавлением блескообразователей и поверхностно-активных веществ (смачивателей). Осажденное таким способом олово (толщиной 0,5—20 мкм) отличается металлическим блеском, и его не нужно дополнительно оплавливать. Для Л. чаще всего применяют стационарные ванны, для Л. полосовой жести — ванны непрерывного действия. При горячем Л. изделие или жест, проходя через кипящий флюс (водный раствор ZnCl_2 , иногда NH_4Cl), попадает в оловянный расплав с т-рой более 250° С, где выдерживается от 10 сек до 10 мин. После ванны с расплавом жест пропускают через слой находящегося на зеркале оловянной ванны хлопкового или пальмового масла, в к-ром окончательно формируется оловянное покрытие, а т-ра его снижается до 240° С. Л. натираем заключается в нанесении флюса и олова на очищенную и нагретую поверхность изделий (гл. обр. медных),

Параметры электролитического лужения жести

Электролит	Температура, °С	Степень окисления олова	Электрохимический эквивалент, кг/к (г/в · ч)	Плотность тока, а/дм ²	Выход по току, %	Время осаждения 1 мкм, сек	Скорость движения полосы (жести), м/сек	Толщина покрытия, мкм	Удельный расход олова, кг/м
Щелочной	80—85	+4	0,308(1,107)	5—7	70	65	До 3	0,2—1	4—8
Фенолсульфоновый	35—50	+2	0,616(2,214)	25—30	95	6	До 9	0,2—1,5	4—8
Галогенидный	65	+2	0,616(2,214)	50—70	95—100	3	До 12	0,2—1,5	4—8

к-рую затем протирают ветошью до получения блестящего оловянного покрытия. Контактный способ Л. заключается в погружении изделия (стального) в кипящий насыщенный водный раствор виннокислого калия, содержащий 3—4 г/л хлористого олова.

При Л. медных и латунных изделий в раствор вводят куски цинка (как наиболее электроотрицательного металла), к-рый вытесняет из него олово, выделяющееся на поверхности изделия. Изделия из титана и его сплавов покрывают оловом, погружая их в расплавленное двуххлористое олово или смесь $\text{SnCl}_2\text{—NH}_4\text{Cl}$ в соотношении 1:1 при т-ре 350—400° С (металл основы вытесняет олово из его хлорида). Иногда олово наплавляют электрической дугой сварочной горелки в среде инертного газа. Оловянные покрытия на стальных изделиях и жести состоят из промежуточного диффузионного слоя интерметаллического соединения FeSn_2 и достаточно чистого оловянного слоя.

При горячем Л. жести промежуточный слой (толщевой 0,25—0,4 мкм) имеет светлые (почти беспористые) поля с более плотным расположением кристаллов FeSn_2 и пористые темные участки, что сказывается на пористости всего покрытия. Промежуточный слой (толщиной 0,1—0,15 мкм) электролитически луженой жести — однотонный, состоит из мелких плотнорасположенных кристаллов (рис.). Луженные изделия эксплуатируют при т-ре не выше 50° С. Наиболее широко применяют белую луженную жечь, из к-рой изготавливают консервные банки. Луженный стальной лист с покрытием толщиной до 5 мкм используют также для изготовления молочных бидонов, поддольников и т. п. Л. подвергают сосуды для варки и хранения пищи, детали радио- и электротехнической аппаратуры, стальную проволоку, медный кабель (для защиты его от действия содержащейся в резиновой оболочке серы), изделия, находящиеся в контакте со взрывчатыми веществами, изделия ширпотреба (напр., пуговицы, наперстки,

булавки), поверхность изделий из титановых сплавов (перед пайкой мягкими припоями или перед волочением проволоки и штампованием листов).

Лит.: Виткин А. И. Производство электролитически луженой жести. М., 1959; Виткин А. И., Тейндл И. И. Металлические покрытия листовой и полосовой стали. М., 1971; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974.

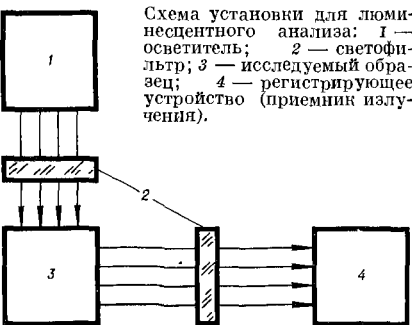
А. И. Виткин.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ (от лат. *lumen* — свет и *...escentia* — суффикс, означающий слабое действие) — качественный и количественный химический анализ материалов, основанный на их люминесценции. Используется с первой половины 20 в. При Л. а. наблюдают либо собственное свечение (фосфоресценцию, хемилюминесценцию и др. разновидности люминесценции) исследуемых материалов, либо свечение их после обработки спец. люминофорами. Люминесценцию анализируемого образца обычно возбуждают, направляя на него ультрафиолетовое излучение, получаемое с помощью кварцевых, ртутных или ксеноновых ламп, лазеров и пр. Интенсивность люминесценции наблюдают визуально или

Промежуточный слой электролитически луженой жести, X 5200.



для повышения точности анализа) применяют регистрирующие фотоэлектронные приборы. Разновидность качественного Л. а. (см. *Качественный анализ*) — сортовой, или групповой анализ, позволяющий обнаруживать различие между материалами, кажущимися при обычном освещении одинаковыми. Теоретич. основанием для количественного Л. а. служит положение о том, что интенсивность люминесценции (если примесь содержится $10^{-4} \div 10^{-5} \text{ г/см}^3$) линейно зависит от концентрации этой примеси. Л. а. отличается высокой чувствительностью, иногда с его помощью определяют даже небольшую ($10^{-7}\%$) концентрацию того или иного компонента. Применение кристаллофосфоров и замороженных растворов позволяет повысить чувствительность анализа на один-два порядка. По чувствительности Л. а. конкурирует со *спектральным анализом*, *масс-спектральным анализом*, *радиоактивационным анализом*, *спектрофотометрическим анализом*, *полярографическим анализом* и др. Для наблюдения люминесценции чаще всего используют установки (рис.), в к-рых источниками излучения служат ртутно-кварцевые лампы или лампы накаливания. Регистрируют люминесценцию визуально, а также с помощью фотоэлементов или фотоумножителей. Применение фотоумножителей вместе с усилителями делает Л. а. одним из самых точных и быстро выполнимых анализов. Л. а. применяют при контроле веществ особой чистоты, в *дефектоскопии* материалов и др.



Лит.: Люминесцентный анализ. М., 1961; Боженов Е. А. Люминесцентный анализ неорганических веществ. М., 1966; Столяров К. П., Григорьев Н. Н. Введение в люминесцентный анализ неорганических веществ. Л., 1967. А. П. Костышина.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД ДЕФЕКТОСКОПИИ — метод *дефектоскопии*, основанный на использовании явления люминесценции; один из осн. методов *капиллярной дефектоскопии*. Применяется с начала 40-х гг. 20 в. В Л. м. д. используют индикаторную жидкость (пенетрант), люминесценция к-рой в ультрафиолетовых лучах вызывается малыми добавками органических и минеральных *люминофоров*. К органическим люминофорам относятся авиационное масло и минеральные масла (напр., вазелиновое), норпол, тяжёлый газойль, шубекол, к минеральным — родами (С, Б), дефектоль зелено-золотистый, люмоген светло-желтый, антрацен. Органические люминофоры растворяют в керосине (за исключением шубекола, применяющегося без растворения), минеральные люминофоры — в этиловом и бутиловом спиртах, в дитолілметане.

Индикаторные жидкости вместе с проявителями входят в дефектоскопические комплекты, отличающиеся между собой чувствительностью. Проявители — порошки окиси магния, *силикагеля*, *талька*, белые краски, некоторые суспензии (напр., взвесь белой глины в этиловом спирте, воде). Технологическое разнообразие люминесцентных методов заключается в различных способах очистки и прогрева изделий, нанесения индикаторной жидкости (погружением, кистью, распылением, компрессионным, вакуумным или ультразвуковым способом), нанесения проявителя (кистью, распылением, погружением) и его удаления (сжатом воздухом, обдувкой, ветошью, растворителем). В процессе контроля на тщательно очищенную поверхность изделия наносит индикаторную жидкость, которая проникает в дефекты.

Через 10 — 15 мин ее удаляют, после чего на поверхность наносят про-

явитель. Некоторые индикаторные жидкости удаляются с трудом, если чистота контролируемой поверхности ниже 5-го класса. Чтобы облегчить их удаление, в очищающие жидкости добавляют какой-либо газитель — резорцин, гидрохинон и др. вещества.

Проявитель, извлекая жидкость из полостей дефекта, смачивается ею и обрисовывает достаточно отчетливо дефект по его контуру. Осматривают изделия в ультрафиолетовом свете после выдержки (30—60 мин) на воздухе. В Л. м. д. применяют люминесцентные дефектоскопы стационарные — ЛД-4 (рис.), ЛД-2, ЛДАЗ, КД-21А и КД-20Л; переносные — КДЗ1Л и КД-40ЛЦ (с люминесцентными и цветными жидкостями в аэрозольной упаковке). В качестве источника ультрафиолетового света используют лампы ДРШ-250, ДРШ-500, ДРШ-1000, ПРК-7М и СВД-120А со светофильтрами из увиолевого стекла УФС-3, УФС-4 и УФС-6. С помощью Л. м. д. выявляют выходящие на поверхность невидимые или плохо видимые дефекты: рыхлоты, плены, микропоры, трещины. Осн. области применения Л. м. д. — авиационная пром-сть, турбостроение, нефтяная и хим. пром-сть.

Лит.: Денель А. К. Дефектоскопия металлов. М., 1972; Рети П. Неразрушающие методы контроля металлов. Пер. с венг. М., 1972. А. Д. Сметанко.

ЛЮМИНОФОРЫ (от лат. *lumen* — свет и греч. *φορός* — несущий), светящиеся составы — синтетические вещества, обладающие люминесценцией — способностью давать световое излучение, избыточное над тепловым, с длительностью, превышающей период световых колебаний. Большая часть неорганических Л. относится к кристаллофосфорам — кристаллическим веществам, характеристики люминесценции к-рых определяются их структурой и резко зависят от содержания примесей — активаторов. Производство пром. Л. («светящихся красок») началось (1870) в Англии. Л. характеризуют спектром излучения, выходом и инерционными св-вами свечения. Спектр излу-

чения определяется цветом свечения Л. с люминесценцией в видимой области. Есть Л. с ультрафиолетовым и инфракрасным излучением. Важная характеристика — длина волны, соответств. максимуму спектра излучения ($\lambda_{\text{макс}}$) (рис. с. 722). Зависит от состава основы Л. и активатора. Ширина спектральных полос излучения составляет от десятых долей и единиц ангстрем (для Л. с редкоземельными активаторами) до сотен и тысяч ангстрем (напр., для сульфидных Л., активированных медью и серебром). Энергетический выход свечения (кпд) зависит от вида возбуждения, его спектра (при фотолюминесценции), экстремально зависит от концентрации активатора и, как правило, снижается при повышении т-ры. Квантовый выход (для Л., возбуждаемых светом) представляет собой отношение излучаемого количества квантов к поглощаемому. Инерционные свойства свечения определяются кривыми разгорания и затухания люминесценции после включения и выключения возбуждения. Яркость люминесценции Л. нарастает с начала возбуждения в течение времени от 10^{-9} сек до нескольких минут. Длительность послесвечения раз-

Люминесцентный стационарный дефектоскоп марки ЛД-4 (источник ультрафиолетового света — лампа ДРШ-1000).



личных Л. обуславливается характером преобразования энергии и продолжительностью возбужденного состояния (наиболее длительное послесвечение у кристаллофосфоров). Исходными веществами при синтезе Л. служат *галогениды, сульфиды, селениды, окислы, фосфаты* и др. Производство Л. заключается в приготовлении исходных веществ (обычно так же, как и в процессе получения минеральных солей, но с тонкой очисткой); приготовлении шихты — смеси веществ, входящих в основу Л., солей металлов-активаторов и минерализующих добавок — плавней; прокаливании шихты (для формирования кристаллической структуры основы Л. и внедрения активаторов); отбраковки Л. под лампой

с ультрафиолетовым излучением (для удаления частей с малой яркостью или с другим цветом свечения); измельчении и просеивании Л., а также классификации или фракционировании (для выделения фракций, обеспечивающих лучшую наносимость и повышенную светоотдачу); промывании и поверхностной обработке Л. водой или спец. растворами (для улучшения наносимости, повышения хим., термической и эксплуатационной стойкости). По типу возбуждения свечения Л. подразделяют на фотолюминофоры (возбуждение ультрафиолетовым, видимым или инфракрасным светом),

Характеристики люминофоров

Марка люминофора	Химическая формула люминофора	$\lambda_{\text{макс}}, \text{ нм}$	Выход фотолюминесценции, %		Энергетический выход катодолуминесценции ($V = 10 \text{ кВ}, j = 1 \frac{\text{мкА}}{\text{см}^2}$), %	Длительность послесвечения (время спада интенсивности свечения после включения возбуждения до 5 % от начальной), сек
			квантовый	энергетический		
ЛГ1-1 ЛГ1-2 ЛГ-3К ЛГ-5 ЛГ-6 Л-3500П	$\begin{cases} 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \times \\ \times \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2\text{Sb} \times \\ \times \text{Mn} \end{cases}$	480 и 580	71—92	34—40	—	10—1 *
Л-42д	$(\text{Ca}, \text{Zn})_3(\text{PO}_4)_2 \text{ Sn}$	500 и 607	72	35	—	$2 \cdot 10^{-5}$ *
Л-33	$\text{BaSi}_2\text{O}_4 \cdot \text{Pb}$	350	78	56	—	—
К-35, К-60	$\text{Zn}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{Mn}$	520	70—74	33—36	4,7—6,8	$4 \cdot 10^{-2}$ **
К-9, К-14, К-75, Б-3с	$\text{ZnS} \cdot \text{Ag}$	450—460	83—96	67—76	17,5—21	$5 \cdot 10^{-3} \div 2 \times 10^{-2}$ **
К-48, К-67, К-74, Б-3ж	$\text{ZnS} \cdot \text{CdS} \cdot \text{Ag}$	520—570	80—90	45—60	14—21	$10^{-3} \div 10^{-2}$ **
Л-15	$\text{ZnS} \cdot \text{CdS} \cdot \text{Cu}$	555	86	57	12	2 ***
К-83	$\text{ZnS} \cdot \text{CdS} \cdot \text{Cu} \cdot \text{Al}$	530	93	64	19,6	$5 \cdot 10^{-3}$ **
К-56	$\text{ZnO} \cdot \text{Zn}$	505	—	—	11,8	$3 \cdot 10^{-6}$ **
К-77	$\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot \text{Eu}$	612	—	—	6,5	$6 \cdot 10^{-3}$ **
К-78	$\text{Y}_2\text{O}_2\text{S} \cdot \text{Eu}$	620	—	—	13,0	$5 \cdot 10^{-3}$ **

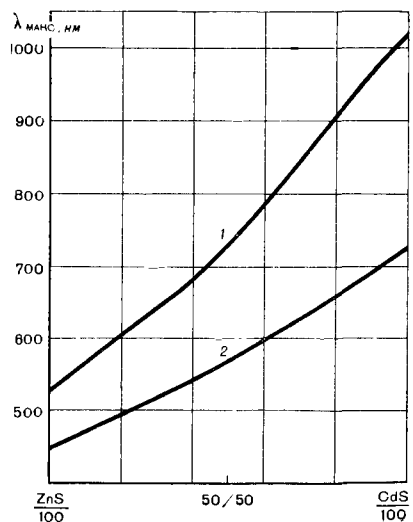
Примечания: * Фотовозбуждение ($\lambda_{\text{возб}} = 254 \text{ нм}$); ** Катодовозбуждение; *** Фотовозбуждение излучением люминофора марки К-14 (последний возбуждается я алектронным лучом); V — ускоряющее напряжение; j — плотность тока луча.

катодолюминофоры (возбуждение электронным лучом), электролюминофоры (возбуждение электрическим полем), рентгенолюминофоры (возбуждение рентгеновскими лучами) и радиолюминофоры (возбуждение радиоактивным излучением). К фотолуминофорам относятся Л. лампы, для светящихся красок, для регистрации и дозиметрии инфракрасного излучения, для преобразования этого излучения. Ламповые Л. производят на основе галофосфата кальция (марок ЛГ1-1 и др.) и ортофосфатов металлов II группы периодической системы (марки Л-42д). Они дают возможность получать белый цвет свечения с различными оттенками (табл. с. 724). *Силикаты* и *вольфраматы* элементов II группы — основа Л., применяемых в люминесцентных лампах для рекламных целей. Для эритемных ламп (с ультрафиолетовым излучением) используют Л. на основе силикатов и ортофосфатов металлов II группы, активированные свинцом и таллием (марок Л-33, Э-2 и Э-3). Светоотдача (отношение излучаемого светового потока к поглощаемой мощности) люминесцентных ламп с видимым излучением составляет 55—83 $\frac{\text{лм}}{\text{вт}}$

в зависимости от цвета свечения. Л. для светящихся красок без длительного послесвечения с синим, голубым, зеленым, желто-зеленым, желтым, оранжевым, красным или белым цветом свечения производят на основе ZnS и $\text{ZnS} \cdot \text{CaS}$, активируя серебром и медью (марки от ФК-1 до ФК-9). Состав Л. с длительным послесвечением — $\text{ZnS} \times \text{Cu}$ (гексагональной структуры), его излучение — зеленое (марка ФКП-03К). Л. для регистрации и дозиметрии инфракрасного излучения дают вспышку под действием этого излучения после предварительного возбуждения светом или гамма-лучами. К ним относятся Л. состава $\text{ZnS} \cdot \text{Cu} \cdot \text{Pb}$; $\text{SrS} \cdot \text{Ce} \times \text{Sm}$ и $\text{SrS} \cdot \text{Eu} \cdot \text{Sm}$ (эти фотолуминофоры обладают люминесценцией, соответствующей правилу Стокса, согласно которому длины волн фотолюминесценции больше

длины волн возбуждающего света). Л. (с антистоксовым возбуждением) для преобразования инфракрасного излучения светодиода в видимое, а также визуализации полей инфракрасных лазеров представляют собой *фториды*, оксихлориды и окисульфиды металлов, активированные двумя редкоземельными элементами, один из которых — обязательно иттербий (напр., $\text{BaYF}_5 \cdot \text{Yb} \cdot \text{Er}$; $\text{BaYF}_5 \cdot \text{Yb} \cdot \text{Ho}$; $\text{YOCl} \cdot \text{Yb} \times \text{Tu}$; $\text{La}_2\text{O}_2\text{S} \cdot \text{Yb} \cdot \text{Er}$). Катодолюминофоры применяют гл. обр. в телевизионной аппаратуре. Для кинескопов черно-белого телевидения используют смеси (марок КТБ-1 и КТБ-2), состоящие из Л. с синим (марки Б-3с, $\lambda_{\text{макс}} = 455 \text{ нм}$) и желтым (марки Б-3ж, $\lambda_{\text{макс}} = 570 \text{ нм}$) свечением. Для трехлучевых кинескопов цветного телевидения применяют люминофоры с цветами свечения синим (марки К-75, $\lambda_{\text{макс}} = 455 \text{ нм}$), зеленым (марки К-74, $\lambda_{\text{макс}} = 525 \text{ нм}$ или марки К-83, $\lambda_{\text{макс}} = 530 \text{ нм}$) и красным (марки К-77, $\lambda_{\text{макс}} = 612 \text{ нм}$ или марки К-78, $\lambda_{\text{макс}} = 620 \text{ нм}$).

Зависимость длины волны, соответствующей максимуму спектра излучения, от состава люминофора, возбужденного электронным лучом: 1 — люминофор состава $\text{ZnS} \cdot \text{CdS} \cdot \text{Cu}$; 2 — люминофор состава $\text{ZnS} \cdot \text{CdS} \cdot \text{Ag}$.



Л. с коротким послесвечением ($1,5 \times 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-6}$ сек) используют для электроннолучевых трубок с бегущим лучом. Коротким послесвечением отличаются Л. состава $ZnO \times Zn$ (марки К-56), а также Л., активированные церием. В осциллографических индикаторах применяют Л. с более длительным послесвечением состава $ZnS \cdot Ag$ (марки К-9), $ZnS \cdot CdS \cdot Ag$ (марки К-48), $CaWO_4$ (марки УР-1) и $Zn_2SiO_4 \times Mn$ (марки К-60). В низкочастотных осциллографических и радиолокационных индикаторах используют экраны с длительным послесвечением (от десятых долей до нескольких десятков секунд). Для однослойных экранов пригодны Л. на основе фторидов металлов, активированные марганцем (марок «Лимит», «Лотос», К-61, К-62, К-63), а также Л. состава $ZnS \cdot Ag \cdot Cu$ (марки КГ-2). Двухслойные (каскадные) экраны состоят из слоев Л. состава $ZnS \cdot Ag$ (марки К-14) и $ZnS \times CdS \cdot Cu$ (марки Л-15). К э л е к т р о л ю м и н о ф о р а м относятся светодиоды — неодимовые структуры в полупроводниковых кристаллах состава SiC , $GaAs$, GaP , $Ga(As, P)$, ZnS , $ZnSe$, $ZnTe$, $(Zn, Cd)Te$ и др., применяемые в микроэлектронных устройствах, и порошковые Л., светящиеся, как правило, при помещении в диэлектрик и воздействии переменного напряжения. Их цвета свечения: синий $ZnS \cdot Cu$ (марка ЭЛС-455м), зеленый — $ZnS \times Cu$ (марки ЭЛ-514, ЭЛ-516) и $ZnS \cdot Cu \cdot Al$ (марка ЭЛ-525), желтый $ZnS \cdot Cu \cdot Mn$ (марка ЭЛ-580с) и $ZnS \cdot ZnSe \cdot Cu \cdot Al$ (марка ЭЛ-590) и красный — $(Zn, Cd)(S, Se)Cu$ (марка ЭЛ-650) и $(Zn, Cd)(S, Se)Cu \cdot Ga$ (марка ЭЛ-670) (цифры в обозначениях марок — длина волны, соответствующая максимуму спектра излучения). Электролюминофоры применяют в различных индикаторных и оптоэлектронных устройствах. Состав р е н т г е н о л ю м и н о ф о р о в: $BaSO_4 \cdot Pb$ (марка Р-355), $CaWO_4$ (марка Р-420), $ZnS \cdot Ag$ (марка Р-450) и $ZnS \times CdS \cdot Ag$ (марки Р-530, Р-535). Их используют в экранах медицинских и пром. рентгеноустановок. К р а д и о л ю м и н о ф о р а м относятся смеси Л. и радиоактивных

веществ, а также Л. спец. состава для дозиметрии ядерных излучений. Некоторые смеси Л. и радиоактивных веществ с большим периодом полураспада применяют для изготовления циферблатов часов и шкал приборов. Газонаполненные тритиевые световые знаки различного цвета свечения используют для аварийного освещения. Эталоны яркости со стабильной интенсивностью свечения и незначительной ее зависимостью от т-ры изготавливают из смесей Л. с изотопом ^{14}C , используя для калибровки чувствительности фотоэлектронных умножителей. Л. для дозиметрии ядерных излучений находят широкое применение в физике и ядерной технике. Регистрацию альфа- и бета-частиц осуществляют Л. состава $ZnS \cdot Cu$ или $ZnS \cdot Ag$. Нейтроны регистрируют теми же Л., но используя ядерные реакции, позволяющие получать альфа-частицы или протоны. Для регистрации гамма-излучения применяют щелочно-галогенные кристаллы, активированные таллием (напр., $NaI \cdot Tl$ или $KI \cdot Tl$). В индивидуальной дозиметрии используют явление термолюминесценции — свечения Л. при нагреве (до т-ры $200-300^\circ C$), осуществляемом после возбуждения (радиоактивного облучения). Интенсивность термолюминесценции пропорциональна дозе нейтронного, гамма- или бета-излучения. В термолюминесцентных дозиметрах применяют Л. состава $CaSO_4 \cdot Mn$, $CaSO_4 \cdot Sm$ и $CaF_2 \cdot Mn$, LiF , а также алюмофосфатные стекла, активированные марганцем (см. также *Дозиметрическое стекло*).

Лит.: Гугель В. М. Люминофоры для электровакуумной промышленности. М., 1967; Шварц К. К. [и др.]. Термолюминесцентная дозиметрия. Рига, 1968; Неорганические люминофоры. Л., 1975; Хениш Г. Электролюминесценция. Пер. с англ. М., 1964; Берг А., Дин П. Светодиоды. Пер. с англ. М., 1973.

В. А. Красноперов.

ЛЮТЕЦИЙ [Lutetium; от лат. Lutetia — Лютеция (древнее назв. Парижа)], Lu — хим. элемент III группы периодической системы элементов; ат. н. 71, ат. м. 174,97; относится к редкоземельным элементам. Металл светло-серого цвета;

свежеприготовленный — с блестящей поверхностью. В соединениях проявляет степень окисления +3. Известны изотопы с массовыми числами от 170 до 179, из них стабилен изотоп с массовым числом 175. Л. открыл (1907) франц. химик Ж. Урбен. Содержание Л. в земной коре менее $1 \cdot 10^{-4}\%$. Пром. минералами для получения металла служат ксенотим и эксенит. Л. полиморфен, т-ра полиморфного превращения при $\approx 1470^\circ \text{C}$. Кристаллическая решетка низкотемпературной модификации гексагональная плотноупакованная типа магния, с периодами $a = 3,5051 \text{ \AA}$, $c = 5,5497 \text{ \AA}$. Плотность $9,840 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 1660^\circ \text{C}$; $t_{\text{кип}} 3315^\circ \text{C}$; коэфф. термического расширения $(8-10) 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; теплоемкость (при комнатной т-ре) $6,336 \text{ кал/г} \cdot \text{атом} \cdot \text{град}$; электрическое сопротивление (т-ра 25°C) 68

мком · см; работа выхода электронов $3,14 \text{ эв}$. Твердость (HV) отожженного Л. составляет 77. Модуль норм. упругости $0,86 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$; модуль сдвига $0,345 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$; сжимаемость $23,85 \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{кг}$; коэфф. Пуассона 0,233. Легко поддается мех. обработке. Химически активен. При высокой т-ре взаимодействует с кислородом, галогенами, серой и др. неметаллами. На воздухе окисляется. Сплавляется со мн. металлами, плавят его в инертной среде или в вакууме. Л. получают металлотермическим восстановлением. Фторид LuF_3 восстанавливают кальцием в танталовых тиглях, а затем дистиллируют (для удаления примесей). Выпускают Л. в виде небольших слитков. Чистый Л. применяют для исследовательских целей.

Лит.: Фигуровский Н. А. Открытие химических элементов и происхождение их названий. М., 1976; Савицкий Е. М., Терехова В. Ф. Металловедение редкоземельных металлов. М., 1975. В. Ф. Терехова.

М

МАГНАЛИИ [от *магн(ий)* и *ал(юмин)ий*] — сплавы алюминия с магнием. Характеризуются высокой пластичностью и коррозионной стойкостью во влажном и морском климате, хорошей свариваемостью, легко поддаются обработке резанием. В СССР изготавливают М. литейные и деформируемые (табл. 1, 2). М. литейные в закаленном (гомогенном) состоянии обладают высокими мех. св-вами ($\sigma_{\text{в}} = 30-45 \text{ кгс/мм}^2$ при $\delta = 10-25\%$) и ударной вязкостью. Однако при нагреве выше т-ры 80°C они разупрочняются, их пластичность снижается в результате выделения из альфа-твердого раствора хрупкой вторичной бета-фазы. Увеличение мех. прочности (до 30%) деформируемых сплавов достигается холодной обработкой (нагартовкой).

Полуфабрикаты из М. изготавливают в виде отливок, листов, лент, профилей, прутков и труб, к-рые применяют для изготовления деталей двигателей, лифтов, емкостей, трубопроводов, сварных и клепаных конструкций, судовой арматуры. Хим. состав литейных М. регламентирует ГОСТ 2865—63, деформируемых М. — ГОСТ 4784—74.

Лит.: Колобнев И. Ф. Термическая обработка алюминиевых сплавов. М., 1966; Алюминиевые сплавы. Справочное руководство [т. 1—5]. М., 1970—73.

А. П. Крылов.

МАГНЕЗИТ (от лат. Magnesium — *магний*), MgCO_3 — минерал класса карбонатов. Синоним: магнезитовый (магнезиальный) шпат. Образует изоморфный ряд (см. *Изоморфизм*) с карбонатом железа и неполные ряды с карбоната-

или марганца и кальция. Магний в небольших количествах может замещаться кобальтом и никелем. Разности по составу: железистый (брейнерит, мезитит, пистомезит), марганцовистый и кальциевый. Сплошные плотные разности М. часто содержат в виде мех. примеси двуокись кремния (опал)

или силикаты магния и отличаются повышенной твердостью. Структура островная, сингония тригональная, вид симметрии тригонально-скаленоэдрический. Кристаллы редки, обычно ромбоэдрические, реже

Таблица 1. Химический состав магнализев

Марка сплава	Содержание элементов, %							Сумма примесей, %, не более
	Al	Mg	Si	Mn	Ti	Be	Zr	
Л и т е й н ы е с п л а в ы								
Ал8	Основа	9,5—11,5	—	—	—	—	—	1,3
Ал27	»	9,5—11,5	—	—	0,05—0,15	0,05—0,15	0,05—0,20	0,6
Ал27-1	»	9,5—11,5	—	—	0,05—0,15	0,05—0,15	0,05—0,020	0,2
Ал13	»	4,5—5,5	0,8—1,3	0,1—0,4	—	—	—	1,9
Ал22	»	10,5—13,0	0,8—1,2	—	0,05—0,15	0,03—0,07	—	1,4
Ал23	»	6,0—7,0	—	—	0,05—0,15	0,02—0,10	0,05—0,20	0,6
Ал23-1	»	6,0—7,0	—	—	0,5—0,15	0,02—0,10	0,05—0,20	0,2
Ал28	»	4,8—6,3	—	0,4—1,0	0,5—0,15	—	—	0,8
Ал29	»	6,0—8,0	0,5—1,0	0,25—0,6	—	—	—	1,0
Д е ф о р м и р у е м ы е с п л а в ы								
АМг3	Основа	3,2—3,8	0,5—0,8	0,3—0,6	—	—	—	0,9
АМг4	«	3,8—4,6	—	0,5—0,8	0,02—0,1	0,002—0,005	—	1,2
АМг5	»	4,8—5,8	—	0,3—0,8	0,02—0,1	0,002—0,005	—	1,4
АМг6	»	5,8—6,0	—	0,5—0,8	0,02—0,1	0,002—0,005	—	1,2

Таблица 2. Свойства магнализев

Марка сплава	$\sigma_{\text{в}}$, кгс/мм ²	δ , %	НВ
	не менее		
Л и т е й н ы е с п л а в ы			
Ал8	29	9	60
Ал27	32	12	75
Ал27-1	35	15	75
Ал13	15	0,5	55
Ал22	23	1,5	90
Ал23	23	6	60
Ал23-1	25	10	60
Ал28	20	3,5	55
Ал29	21	3	60
Д е ф о р м и р у е м ы е с п л а в ы			
АМг3	20—24	15—7	—
АМг4	25	15	—
АМг5	28	14	—
АМг6	30—38	15—6	—

призматические, таблитчатые или скаленоэдрические. Чаще встречается в виде крупнозернистых мраморовидных агрегатов или плотных фарфоровидных масс, реже — землистый до мелоподобный, пластинчатый или грубоволокнистый. Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по ромбоэдру {10 $\bar{1}$ 1}. Плотность 2,98 г/см³. Твердость 3,5—4,5. Хрупкий. Бесцветный или белый с желтоватым или сероватым оттенком (см. *Цвет минералов*). Блеск (см. *Блеск минералов*) стеклянный. Излом раковистый (см. *Излом минералов*). В проходящем свете прозрачный и бесцветный. М., содержащий до 5% СоО, плеохроирует в красных и пурпурных тонах. Одноосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_o = 1,700$; $n_e = 1,509$; $n_o - n_e = 0,191$. При ударе у некоторых М. возникает желтое триболюминесцентное свечение. В ультрафиолетовых лучах

иногда флюоресцирует и фосфоресцирует зеленоватым или синеватым цветом, в катодных лучах светится ярким оранжево-красным цветом. Тонкоизмельченный минерал слабо растворяется в холодной соляной к-те, в горячей соляной к-те растворяется с шипением. Термическая диссоциация при наличии воздуха происходит при т-ре 600—690° С. В природе встречается реже, чем такие распространенные карбонаты, как *кальцит* или *доломит*, но иногда образует значительные скопления, представляющие пром. интерес. Часть таких месторождений кристаллически-зернистого М. образуется гидротермальным путем в результате действия горячих щелочных растворов на доломиты или доломитизированные известняки, вследствие выщелачивания и отложения углекислого магния. Другой тип гидротермальных месторождений, также имеющих практическое значение, связан с воздействием богатых углекислотой гидротерм на массивы ультраосновных пород: серпентинитов, перититов и др. В таких месторождениях залежи тонкозернистого М. в виде линз, жил, гнезд и густой сети прожилков обычно приурочены к сети трещин и зонам сбросов. Скопления скрытокристаллического («аморфного») М. возникают также при выветривании массивов ультраосновных пород. Магний, образующийся под действием поверхностных вод и углекислоты воздуха на магнезиальные силикаты, в виде бикарбоната инфильтруется в нижние горизонты коры выветривания, где и отлагается (в виде магнезита) в зоне застоя грунтовых вод. В небольших количествах М. встречается среди осадочных солей и гипсовосных отложений. М. получают при повышенной т-ре и давлении нагреванием карбоната кальция с раствором хлорида или сульфата магния, а также осаждением карбоната магния из воды, насыщенной двууглекислым газом в герметической бомбе при т-ре 160—200° С. М. используют в металлургии, в произ-ве отделочных, теплоизоляционных и др. строительных материа-

лов, для получения металлического магния и др. Применение М. основано на высокой *огнеупорности* и вяжущих св-вах окиси магния (*периклаза*). В металлургии «намертво обожженный магнезит» (при т-ре 1600—1650° С) употребляют для изготовления огнеупорных кирпичей, поддерживающих т-ру до 3000° С. Они идут в кладку нижних частей пода мартеновских печей, конверторов, цементных и др. печей. Кроме того, обожженный М. (при т-ре 750—1000° С) применяют для изготовления магнезиального цемента (цемента Сореля), отличающегося хорошими вяжущими св-вами и используемого в абразивной пром-сти (точильные круги), в строительстве (стойкая штукатурка в смеси с песком, гравием, древесными опилками, диатомитом, тальком и др. наполнителями), для производства электроизоляторов. Основными потребителями М. являются пром-сть *огнеупорных материалов*, использующая 90% добываемого сырья, и цементная пром-шленность. В меньшем количестве М. потребляют в металлургии (металлический магний), фармацевтическом (препараты магния), керамическом (*флюсы*), резиновом (ускоритель вулканизации), бумажном, сахарном и некоторых др. производствах.

Лит.: Белянкин Д. С., Иванов Т. В., Лапин В. В. Петрография технического камня. М., 1952; Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Дэна Дж. Д. [и др.]. Система минералогии, т. 2, полут. 1. Пер. с англ. М., 1953; Дири У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Порообразующие минералы, т. 5. Пер. с англ. М., 1966; Костов И. Минералогия. Пер. с англ. М., 1971.

П. В. Зарицкий.

МАГНИЙ [Magnesium; от назв. местности Магнесия (Μαγνησία) в древней Греции], Mg — хим. элемент II группы *периодической системы элементов*; ат. н. 12, ат. м. 24,305. Серебристо-белый металл. В соединениях проявляет степень окисления +2. Природный М. состоит из стабильных изотопов ²⁴Mg (78,60%), ²⁵Mg (10,11%) и ²⁶Mg (11,29%). Известно пять радиоактивных изотопов. Впервые М. выделил (1808) англ. химик и физик Г. Дэви. Металлический М. получил (1829) франц. химик А. Бюсси дей-

ствием паров калия расплавлен-
ный хлорид магния. Пром. произ-во
М. электролитическим способом на-
чалось в Германии в конце 19 в. М.
принадлежит к числу элементов, наи-
более распространенных в земной ко-
ре. Его содержание около 2,4%. В
свободном виде в природе не встреча-
ется, находится в виде соединений —
силикатов, хлоридов, карбонатов и
сульфатов. Для произ-ва М. исполь-
зуют гл. обр. *магнезит, доломит и*
карналлит. Большие запасы М. в
виде хлористых солей содержатся
в морской и соленой воде озера. Кри-
сталлическая решетка М. гексаго-
нальная плотноупакованная с перио-
дами (т-ра 25° С) $a = 3,2030 \text{ \AA}$ и
 $c = 5,2002 \text{ \AA}$; ат. радиус для коор-
динационного числа 12 равен $1,60 \text{ \AA}$,
ионный радиус Mg^{2+} равен $0,74 \text{ \AA}$.
Плотность (т-ра 20° С) $1,74 \text{ г/см}^3$,
в жидком состоянии (т-ра 700° С)
 $1,54 \text{ г/см}^3$; $t_{\text{пл}} 650^\circ \text{ С}$; $t_{\text{кип}} 1107^\circ \text{ С}$;
удельная *теплоемкость* (т-ра 20—
100° С); $0,246 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$; темпера-
турный коэффициент линейного рас-
ширения (т-ра 25° С) $26 \cdot 10^{-6}$
 град^{-1} ; удельное *электрическое со-*
противление (т-ра 20° С) $4,47 \cdot 10^{-6}$
 $\text{ом} \cdot \text{см}$. Металлический М. парамаг-
нитен. Предел прочности в литом
состоянии 12,0, в деформированном
20,0 кгс/мм^2 ; предел текучести в ли-
том состоянии 3,0, в деформирован-
ном 9,0 кгс/мм^2 ; относительное удли-
нение в литом состоянии 8,0, в де-
формированном 12,0%; *НВ* в литом
состоянии 30,0, в деформированном
36,0; модуль норм. упругости 4500
 кгс/мм^2 , модуль сдвига 1820 кгс/мм^2 .
Предел усталости отожженного М.
при базе $5 \cdot 10^8$ равен 6,3 кгс/мм^2 .
Прочностные св-ва М. повышают
нагартовкой. М. — химически актив-
ный металл. На воздухе окисляется
с образованием на поверхности окис-
ной пленки из MgO . Дистиллирован-
ная холодная вода на М. почти не
действует. Кипящую воду М. раз-
лагает энергично. В морской и минер.
воде разрушается. В водных раство-
рах большинства минеральных кис-
лот растворяется. Стоек в рас-
творах плавиковой и хромовой к-т, со-
ды, едких щелочей, а также в бен-
зине, керосине и минер. маслах,

вследствие чего может быть исполь-
зован для изготовления трубопро-
водов, баков и цистерн для перевозки
и хранения этих жидкостей. М.
растворяет в больших количествах
водород. При т-ре кристаллизации
в жидком М. растворяется около
 $50 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$ водорода, а в твердом
около $20 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$. При т-ре 500—
600° С магний вступает во взаимо-
действие с серой, образуя сульфид
магния, при т-ре 660—700° С — с
азотом, образуя нитрид магния. Со
многими металлами образует *твер-*
дые растворы и хим. соединения.
Медь, железо и никель сильно сни-
жают его *коррозионную стойкость*.
Поэтому содержание железа в тех-
ническом М. не должно превышать
0,040, меди 0,005 и никеля 0,001%.
Содержание натрия не должно пре-
вышать 0,01, а калия 0,005%.
Введение небольшого количества
бериллия (0,005 — 0,02%) почти
полностью исключает его воспламе-
нение при нагреве на воздухе до
точки плавления, сильно снижает
окисляемость при плавке и литье.
Цирконий сильно изменяет зерно
М., повышает мех. св-ва и корро-
зионную стойкость. Для защиты от
коррозии (см. *Коррозия металлов*)
на поверхность М. наносят тончай-
шие окисные пленки или лакокрасоч-
ные покрытия. Хорошие результаты
дает покрытие эпоксидными плен-
ками. Металлический М. получают
электролитическим (около 70% об-
щего произ-ва) и термическими (око-
ло 30%) способами. Электролитиче-
ский способ заключается в полу-
чении хлорида М. из исходного сырья
и его электролизе. Термические спо-
собы (силикотермический, карбидо-
термический) заключаются в вос-
становлении М. из обожженного
магнезита или доломита. Первич-
ный М., полученный электролизом
или термическими способами, под-
вергают *рафинированию*. Разрабо-
таны также способы получения более
чистого М., что позволяет повысить
пластичность и коррозионную стой-
кость металла и сплавов на его ос-
нове. Пластичность М. мала. Обра-
ботку М. давлением проводят при
повышенной т-ре. Прессование М. и

его сплавов осуществляют при т-ре 300—480° С (в зависимости от состава сплава) с небольшими скоростями — 0,5 ÷ 3 м/мин, прокатку проводят при т-ре выше 340° С и закапчивают при т-ре 225—250° С. Холодную прокатку ведут с промежуточными *отжигами*. Дляковки и штампования используют закрытые штампы и фигурные бойки. Первичный М. выпускают марок Мг 90 (не менее 99,90% Mg), Мг95 (не менее 99,95% Mg) и Мг96 (не менее 99,96% Mg) в виде чушек массой $8,0 \pm 1,0$ кг. Большую часть металлического М. применяют для произ-ва *магния сплавов*, используют его также для легирования *алюминия сплавов*. Из-за большой хим. активности к кислороду М. применяют в качестве *раскислителя* в произ-ве стали и цветных сплавов, для получения трудновосстановливаемых металлов (титана, циркония, ванадия, урана, хрома и др.) вытеснением их из соединений. Кроме того, его используют для получения высокопрочного *модифицированного чугуна*. В хим. промышленности порошкообразный М. применяют для обезвоживания органических веществ (спирта, анилина и др.), а также для получения магнийорганических соединений. М. в порошкообразном виде и в виде лепты горит ослепительно белым пламенем, что находит практическое применение в пиротехнике, в фотографии (для моментальных съемок), в военной технике (сигнальные ракеты, зажигательные бомбы и др.). М. склонен к *воспламенению*, вследствие чего плавку ведут в железных тиглях под слоем покровного флюса. На основе М. созданы сплавы с особыми физ. и хим. св-вами, сплавы с высокой *демпфирующей способностью*, сплавы для протекторной и катодной защиты и др.

Лит.: Дриц М. Е. Магниево сплавы и перспективы их использования в народном хозяйстве. М., 1959; Стрелец Х. Л., Тайц А. Ю., Гуляничик И. Б. С. Металлургия магния. М., 1960; Дриц М. Е. Магниево сплавы для работы при повышенных температурах. М., 1964; Эйденозон М. А. Металлургия магния и других легких металлов. М., 1974; Беляев А. И. Металлургия легких металлов. М., 1970; Дриц М. Е. [и др.]. Сверхлегкие кон-

струкционные сплавы. М., 1972; Бондарев В. И. Плавка и литье деформируемых магниевых сплавов. М., 1973; Эмлин Е. Ф. Основы технологии производства и обработки магниевых сплавов. Пер. с англ. М., 1972. М. Е. Дриц.

МАГНИКО [от греч. *μάγνης* — магнит и (аль) *νικο*] — магнитно-твердые сплавы, охлаждаемые в магнитном поле для улучшения магнитных свойств. Относятся к сплавам аль-нико. Содержат (кроме железа) 23,5—26% Со, 7,5—9% Al, 12—15,5% Ni, 2—4,5% Си. Сплавы М (гл. обр. марок ЮН14ДК24, ЮН14ДК25БА) применяют для изготовления постоянных магнитов. См. также *Термомагнитная обработка металлов*.

Лит. см. к ст. Альни. Н. Н. Потапов.

МАГНИТНАЯ АНИЗОТРОПИЯ — различие магн. свойств материала в разных направлениях. Обуславливается анизотропным характером магн. взаимодействия между атомными носителями магнетизма в материалах, что следует, напр., из зависимости энергии ϵ взаимодей-

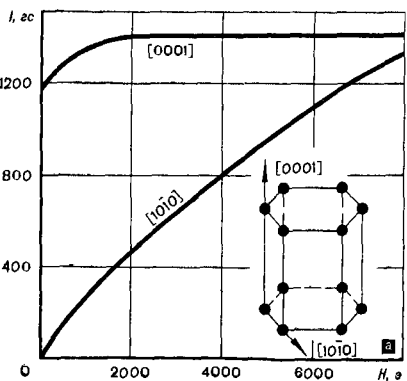
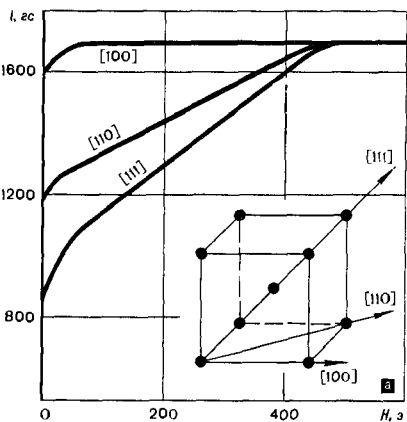
ствия векторов магн. момента \vec{m}_1 и \vec{m}_2 от углов ν_1 и ν_2 между ними и

вектором \vec{r}_{12} , соединяющим их начала. Если $\nu_1 = \nu_2 = \nu$, то $\epsilon = m_1 m_2 r_{12}^{-3} (1 - 3 \cos^2 \nu)$, т. е. М. а.

должна наблюдаться во всех *магнитных материалах*. Однако в материалах с изотропным или квазиизотропным расположением атомов в пространстве (напр., в аморфных телах, *поликристаллах* без кристаллографической и магн. текстуры) М. а. макроскопически не наблюдается. В анизотропных материалах М. а. обуславливает заметные эффекты, особенно ярко проявляющиеся в *монокристаллах ферромагнетиков* (рис.). Магн. насыщение I_s по разным кристаллографическим осям материала достигается при разных полях H_s . Следовательно, существуют оси легчайшего намагничивания, вдоль к-рых направлены векторы \vec{I}_s ферромагнитных доменов (намагниченных до насыщения частей объема ферромагнетика). Мерой М. а. для каждого направления в кристалле является работа внешнего поля H , необходимая для поворота вектора \vec{I}_s от направления оси лег-

напряжения поля. Она равна свободной энергии М. а. F_K , зависимость которой от направления \vec{I}_s в каждом кристалле определяют из соображений симметрии. Так, для кубических кристаллов (железа, никеля) $F_K^{\text{куб}} = K_1(\alpha_1^2\alpha_2^2 + \alpha_2^2\alpha_3^2 + \alpha_3^2\alpha_1^2) + K_2\alpha_1^2\alpha_2^2\alpha_3^2$, для гексагональных кристаллов (кобальта) $F_K^{\text{гекс}} = K_1(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) + K_2(\alpha_1^2 + \alpha_2^2)^2$ (без учета М. а. в плоскости базиса), где K_1 и K_2 — соответственно первая и вторая константа естественной кри-

сталлографической М. а., а α_1, α_2 и α_3 — направляющие косинусы вектора \vec{I}_s относительно главных осей кристалла. Абс. величина, знак и др. характеристики констант K_1 и K_2 зависят от природы материала. Так, при комнатной т-ре у кобальта $K_1 \approx +5 \cdot 10^6 \text{ эрг/см}^3$, у железа $K_1 \approx +5 \cdot 10^5 \text{ эрг/см}^3$, у никеля $K_1 \approx -0,5 \cdot 10^4 \text{ эрг/см}^3$, у SmCo_5 $K_1 \approx +10^8 \text{ эрг/см}^3$. Как правило, константы М. а. уменьшаются с ростом т-ры, стремясь к нулю в Кюри точках. Поля насыщения H_s наз. эффективными полями М. а. Их величина определяется величиной констант K_1 и K_2 . Так, в кубических кристаллах для осей $[110]$ $H_{s[110]} = 2K_1/I_s$. Константы М. а. находят, измеряя H_s и I_s . Их определяют также, измеряя площадь между



кривой $I(H)$ и осью $I(F_K = \int_0^H NdI$, рис.), и, наконец, измеряя моменты вращения, испытываемые монокристаллическими дисками во внешнем магн. поле, поскольку эти моменты пропорциональны константам М. а. В магнитоупругих материалах, кроме естественной кристаллографической М. а., наблюдается и упругая М. а., возникающая при наложении на образцы внешних односторонних напряжений. При определении магнитной восприимчивости, магнитной проницаемости, коэрцитивной силы, магнитных потерь и др. параметров магн. материалов большое значение имеет изучение М. а. ферромагнетиков. Для изготовления магнитно-мягких материалов (напр., сплавов типа пермаллой) используют ферромагнетики с миним. М. а., что обуславливает макс. магн. проницаемость и миним. магн. потери. Для изготовления же магнитно-твердых материалов (напр., сплавов типа SmCo_5) используют ферромагнетики, где М. а. максимальна. М. а. в диамагнитных материалах и парамагнитных материалах важна для магнетохимических методов изучения материалов.

Лит.: Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971; Бозорт Р. М. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956.

МАГНИТНАЯ ВОСПРИЙМЧИВОСТЬ — физическая величина, характеризующая свойство материала намагничиваться в магнитном поле, т. е. менять свою намагниченность при изменении напряженности этого поля. М. в. равна отношению намагниченности материала к напряженности магн. поля: $\kappa = I/H$ (объемная М. в.). М. в. 1 г материала наз. удельной ($\chi = \kappa/\rho$, где ρ — плотность), а 1 моля — молярной ($\kappa_{\text{мол}} = \chi \times M$, где M — молекулярная масса). При нелинейной зависимости намагниченности от напряженности магн. поля используют дифференциальную М. в. ($\kappa_d = dI/dH$). В диамагнитных материалах $\kappa < 0$, в парамагнитных материалах $\kappa > 0$. По абс. величине М. в. этих материалов мала (10^{-6} — 10^{-4}) и практически не зависит от напряженности магн. поля (за исключением области сильных полей и низких т-ры). В магнитных материалах (ферро- и ферримагнетиках) М. в. положительна, велика (от нескольких десятков до сотен тысяч единиц) и сложно зависит от напряженности магн. поля. При т-рах, не очень близких к Кюри точке, с увеличением напряженности магн. поля М. в. увеличивается от значения κ_a , называемого начальной М. в. (при $H = 0$), до макс. величины $\kappa_{\text{макс}}$, а затем уменьшается (насыщение). При очень большой напряженности магн. поля дифференциальная М. в. достигает величины, свойственной парамагнитным материалам. М. в. во мн. случаях зависит от т-ры, за исключением большинства диамагнитных материалов и некоторых парамагнитных металлов (напр., щелочных). М. в. парамагнитных материалов уменьшается с ростом т-ры, следуя закону Кюри $\kappa = C/T$, где C — постоянная Кюри, или закону Кюри — Вейса $\kappa = C'/T - \theta_p$, где C' — постоянная Кюри — Вейса; θ_p — парамаг-

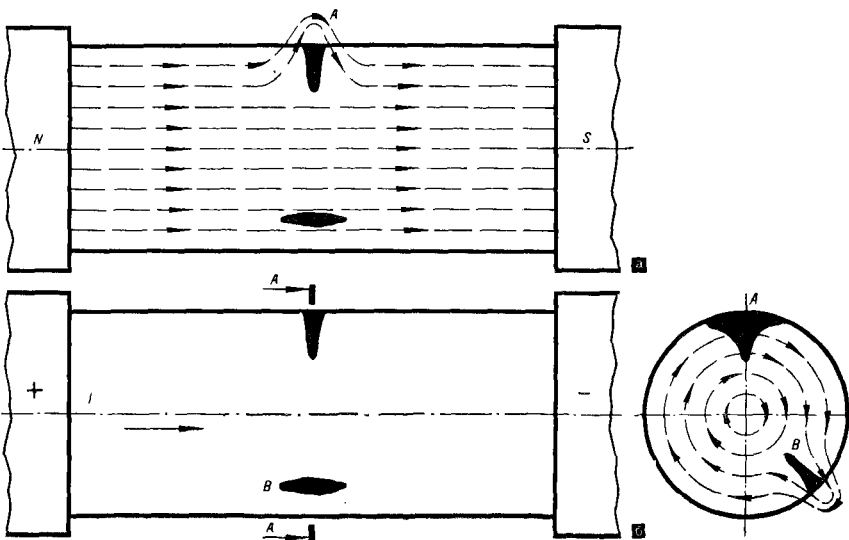
нитная точка Кюри. В ферромагнитных и антиферромагнитных материалах М. в. с ростом т-ры увеличивается, достигая максимума вблизи точки Кюри (Нееля точки — у антиферромагнетиков), а затем уменьшается по закону Кюри — Вейса. М. в. слабомагнитных (диа- и парамагнитных) материалов определяют измерением силы, действующей на образец, находящийся в неоднородном магн. поле. Применяют также различные электр. методы измерения параметров катушек индуктивности, внутри к-рых помещены образцы исследуемых материалов. Изучение М. в. неорганических материалов дает важную информацию об их структуре, о диаграммах состояния сплавов, о гетерогенном катализе и т. п.

Лит.: Аркадьев В. К. Электромагнитные процессы в металлах, ч. 1—2. М.—Л., 1934—36; Вонсовский С. В., Шур Я. С. Ферромагнетизм. М.—Л., 1948; Дорфман Я. Г. Диамагнетизм и химическая связь. М., 1961; Чернышков В. И. Магнитные измерения. М., 1969; Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971; Бозорт Р. М. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956; Селлуд П. Магнетохимия. Пер. с англ. М., 1958.

МАГНИТНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ — дефектоскопия, основанная на регистрации магнитных полей рассеяния на дефектах или магн. свойств контролируемого изделия. Различают магн. разрывоскопию, т. е. совокупность магн. методов обнаружения в материалах нарушений сплошности (трещин, раковин, пор и т. п.), и магн. тензометрию — совокупность магн. методов обнаружения в материалах внутренних напряжений. Одним из признаков, по к-рому классифицируют методы М. д., является характер магн. поля, взаимодействующего с контролируемым изделием. Чаще всего используют методы магнитной разрывоскопии. По методу постоянного магн. поля изделие намагничивают пост. внешним полем, замыкая им магн. цепь мощного электромагнита или помещая его в намагничивающий соленоид. Напряженность магн. поля на оси соленоида должна быть не менее 150 э (120 · 10³ а/м). Наиболее сильные поля рассеяния возникают на дефектах, расположенных перпендикулярно направлению намагничивающего поля (рис.), вследствие чего изде-

ние целесообразно намагничивать в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Надежные результаты получают при напряженности намагничивающего поля на поверхности не менее $20 \div 30 \text{ э}$ ($1600 \div 2400 \text{ а/м}$), обнаруживая дефекты в материалах с низкой (менее 10 э , 800 а/м) коэрцитивной силой, в изделиях сложной конфигурации и большого поперечного сечения. В процессе дефектоскопии по остаточной намагниченности изделие вначале намагничивают, а после удаления из намагничивающего поля подвергают контролю. Этот метод можно применять для исследования материалов с коэрцитивной силой не менее $10 \div 13 \text{ э}$ ($800 \div 1040 \text{ а/м}$), т. е. не очень легко размагничивающихся материалов, напр. стали, подвергнутой термической обработке. Напряженность намагничивающего поля на поверхности изделия должна быть не менее 80 э (6400 а/м). Чувствительность этого метода несколько ниже чувствительности метода контроля в постоянном магн. поле. Помимо намагничивания во внешнем магн. поле используется намагничи-

Взаимодействие магнитного поля с дефектами в процессе магнитной дефектоскопии: а — намагничивание постоянным внешним магнитным полем (полюсное намагничивание); б — намагничивание магнитным полем постоянного тока (циркулярное намагничивание).



вание магн. полем, создаваемым током, который пропускают через изделие. С этой целью часто прибегают к разрядке конденсаторов большой емкости (одна из разновидностей т. н. метода импульсного магн. поля). Нередко применяют комбинированное намагничивание: продольным и циркулярным магн. полями или др. (метод комбинированного магн. поля). Информацию о дефектах чаще всего получают с помощью магн. порошка (см. *Магнитно-порошковый метод дефектоскопии*) или магн. суспензии: поля рассеяния выявляют по оседанию на дефектах мелких (порядка нескольких микрометров) частиц порошка или суспензии. Способ представления окончательной информации в этом случае — визуальный, поскольку «валики», образованные частицами порошка или суспензии в местах выхода силовых линий полей рассеяния на дефектах, обнаруживают невооруженным глазом или с помощью лупы. В процессе дефектоскопии шлифованных поверхностей цвет используемого порошка не играет существенной роли. Если же поверхности подверглись коррозии (см. *Коррозия металлов*) и окислению, применяют специально окрашенные магн. порошки. Лучших

результатов добиваются, освещая изделие с помощью осветителя, ось которого параллельна оси исследуемого изделия. Нередко частицы порошка покрывают флуоресцирующим веществом — люминофором. Тогда дефекты выявляют, направляя на изделие в темноте ультрафиолетовое излучение (люминесцентный способ представления окончательной информации, см. также *Магнитно-люминесцентный метод дефектоскопии*). Если необходимо, выявленные дефекты фотографируют или полученную картину регистрируют на бумаге, покрытой слоем, чувствительным к магн. «рисунку». Помимо регистрации дефектов с помощью магн. порошка применяются и другие методы индикации первичной информации. Так, по *магнитографическому методу дефектоскопии* поля рассеяния намагничивают ферромагнитную пленку, приложенную к поверхности изделия. Пленку анализируют с помощью магнитофонной головки, сигналы от намагниченных мест преобразуют в электр. импульсы и подают на отклоняющие пластины осциллографа (электроннолучевой способ представления окончательной информации). По индукционному способу индикации первичной информации магнитофонной головкой исследуют непосредственно поверхность изделия. *Феррозондовый метод дефектоскопии* основан на регистрации магн. поля рассеяния феррозондами. Если для этого используется эффект Холла, то контролирующий поверхность изделия зонд включает в себя генератор из материалов с большой постоянной Холла. При помещении одного из концов зонда в то место поверхности, где силовые линии поля рассеяния выходят наружу, генератор Холла оказывается включенным в магн. цепь, и соответствующий сигнал регистрируется чувствительным вольтметром. Метод целесообразен для контроля по остаточной индукции и для разрывоскопии в приложенном магн. поле. В последнем случае холловское напряжение, созданное намагничивающим полем, компенсируется потенциа-

магнитному методу дефектоскопии регистрируют взаимодействие собственного электромагнитного поля намагничивающей катушки с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом изделии. Находит применение магнитно-полупроводниковый способ регистрации полей рассеяния на дефектах с использованием магн. диода изменяющего *электропроводность* под действием магн. поля. Чувствительность методов разрывоскопии определяется св-вами контролируемого материала, формой изделия, величиной и характером намагничивающего поля, чувствительностью регистрирующего устройства и пр. Так, в конструкционной стали магнитно-порошковым методом в приложенном постоянном магн. поле удается выявить непровары и трещины (шириной 0,01—0,2 и длиной 3—4 мм) на глубине до 2,5 мм, а *волосовины* (шириной 0,04 ÷ 0,3 и длиной 0,05 ÷ 0,7 мм) на глубине до 1 мм. При использовании феррозондового метода индикации непровары и трещины обнаруживают на глубине до 30, волосовины на глубине до 20 мм. Для магн. разрывоскопии применяют стационарные и переносные дефектоскопы. Магн. тензометрия основана на регистрации изменения намагниченности материала в процессе упругого деформирования. Осуществляется с помощью магнитоупругих датчиков, отличающихся высокой чувствительностью и достаточной стабильностью магн. контакта в измерительных звеньях, что достигается использованием магн. суспензии. Созданы установки (напр., типа СКОН-10) для неразрушающего контроля, обеспечивающие измерение и документальную регистрацию величины и распределения остаточных напряжений.

Лит.: Магнитные методы дефектоскопии, анализа и измерений. Свердловск, 1959; Соколов В. С. Дефектоскопия материалов. М.—Л., 1961; Кифер И. И. Испытания ферромагнитных материалов. М.—Л., 1962; Методы и аппаратура для испытаний ферромагнитных материалов. М., 1972; Рети П. Неразрушающие методы контроля металлов. Пер. с венг. М., 1972.

М. В. Белоус.

МАГНИТНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ — свойство материала пропускать магнитный поток по участку магнитной

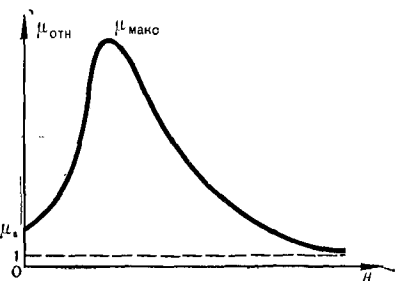
цепи. Величина μ обратна величине магнитного сопротивления. Для однородного участка магн. цепи M . п. равна отношению измеренных значений магн. потока к падению магн. потенциала или по ф-ле $g_m = \mu S/l$, где μ — абс. магнитная проницаемость; S — площадь поперечного сечения участка магн. цепи; l — длина участка магн. цепи. M . п. используют при расчете магн. цепей. Если эти цепи находятся в переменных магн. полях, то пользуются комплексными значениями M . п., учитывая магнитные потери, расходуемые на перемагничивание ферромагнитных материалов.

Лит.: Буль В. К. Основы теории и расчета магнитных цепей. М.—Л., 1964; Чернышев Е. Т. [и др.]. Магнитные измерения. М., 1969.

Л. А. Фридман.

МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ — физическая величина, характеризующая связь магнитной индукции и напряженности магнитного поля. Абсолютная M . п. равна отношению величины магн. индукции в материале к величине напряженности магн. поля, вызвавшего эту индукцию: $\mu_{\text{абс}} = B/H$. Практическое применение имеет относительная M . п., равная отношению абсолютной M . п. материала к магн. постоянной (абс. M . п. вакуума) μ_0 , т. е. $\mu_{\text{отн}} = \mu_{\text{абс}}/\mu_0$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ гн/м. Относительная M . п. (в системе СИ) связана с магнитной восприимчивостью χ соотношением $\mu_{\text{отн}} = 1 + \chi$. При нелинейной зависимости магн. индукции от напряженности магн. поля ис-

Зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля у ферромагнитного материала.



пользуют дифференциальную M . п. $\mu_d = dB/dH$. Дифференциальная M . п. при $H = 0$ наз. начальной M . п. (μ_n). В диамагнитных материалах M . п. меньше единицы, во всех остальных материалах — больше ее. По абс. величине M . п. всех веществ, за исключением магнитных материалов

Химический состав; начальная и максимальная относительная магнитная проницаемость ферро- и ферритмагнитных материалов

Материал	Химических состав, %	μ_a	$\mu_{\text{макс}}$
Железо чистое электролитическое	99,98 Fe	$5 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^4$
Сталь электро-техническая марки 941	98 Fe, 2Si	$3 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$
Пермаллой марки 50Н	50Fe, 50 Ni	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$
Супермаллой марки 80НМ	15Fe, 80Ni, 5Mo	10^3	10^4
Феррит никель-цинковый марки НН-2500	66,5 Fe ₂ O ₃ , 9,5 NiO, 24 ZnO	$2,5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$

(ферро- и ферритмагнетиков), близка к единице. Материалы с $\mu \gg 1$ являются сильномагнитными ферро- или ферритмагнетиками, их M . п. в значительной степени зависит от величины напряженности магн. поля, увеличиваясь от μ_a до $\mu_{\text{макс}}$ и уменьшаясь затем в сильных полях до величины, близкой к единице (насыщение) (рис.). Магн. св-ва сильномагнитных материалов, находящихся в некотором магн. поле, характеризуют обратной M . п., равной пределу отношения изменения магн. индукции к бесконечно малому уменьшению напряженности подмагничивающего поля, вызвавшему это изменение индукции. Вследствие влияния магн. вязкости, вихревых токов и магн. резонансных явлений измеряемая величина M . п. зависит от скорости изменения напряженности магн. поля. M . п., измеренная в пост. магн. поле, наз.

статической, а в перем. магн. поле — динамической. В технике находят применение ферро- и ферромагнитные материалы с большой величиной относит. М. п. (табл. с. 733). При измерении М. п. на образцах конечных размеров учитывают размагничивающее действие концов образца, приводящее к уменьшению эффективной М. п. образца $\mu_{обр}$ по сравнению с М. п. материала, из которого изготовлен образец: $\mu_{обр} = 4\pi\mu/[4\pi + N(\mu - 1)]$, где N — размагничивающий фактор, зависящий от формы и размеров образца. М. п. измеряют: баллистическим методом, определяя количество электричества, протекающего в витках обмотки, охватывающей образец, при резком изменении магн. потока; магнитометрическим методом, изучая воздействие исследуемого образца на магн. стрелку; электродинамическим методом, определяя поворот рамки с током в магн. поле образца; индукционным методом, измеряя эдс индукции или реактивное сопротивление катушки с образцом, и т. д. Изучение М. п. неорганических материалов с магнетохимической точки зрения дает информацию об их физико-химической структуре, типах хим. связи и т. п.

Лит. см. к ст. *Магнитная восприимчивость*. С. В. Вонсовский.

МАГНИТНАЯ СТАЛЬ — сталь, отличающаяся магнитными св-вами. Относится к магнитно-твердым материалам. Магнитные св-ва сталь приобретает после закалки на мартенсит, вследствие чего ее наз. также мартенситной сталью. Осн. кри-

терием качества такой стали является магн. мощность, к-рая тем больше, чем больше остаточная индукция и коэрцитивная сила и чем ближе к прямоугольной форма кривой размагничивания. К М. с. относятся углеродистые и легированные (вольфрамовые, хромистые, кобальтовые) стали. Углеродистые М. с. насчитывают 16 марок (У7, ..., У13А). У стали марки У13 после тройной термической обработки остаточная индукция составляет 9250 гс, коэрцитивная сила 75 э. Однако углеродистые М. с. отличаются низкой прокаливаемостью, малой стабильностью остаточной индукции и сравнительно невысокими магн. св-вами. Лучшими магн. св-вами характеризуются легированные М. с. (табл. 1, 2). Достаточно высоки эти св-ва у вольфрамовых М. с. (до 6% W), однако из-за дефицитности и высокой стоимости вольфрама их применяют редко. Магн. св-ва хромистых М. с. не уступают магн. св-вам вольфрамовых. С увеличением содержания хрома в таких сталях увеличивают и содержание углерода. Так, при 2% Cr содержание углерода составляет 0,9—1,0%, а при 3% Cr его содержится 0,9—1,1%. Среди хромистых М. с. самые высокие магн. св-ва у сталей с 3% Cr и 1% C. Кобальтовые М. с. обладают наилучшими магн. св-вами. Однако они весьма дорогостоящие, их трудно обрабатывать (из-за высокой твердости). М. с. характеризуется оптимальными магн. св-вами, если структура состоит из мартенсита и высокодисперсных карбидов, что обеспечивается термической обработкой, в результате к-рой часть карбидов переводится в твердый раствор, а другая выделяется в высокодисперс-

Таблица 1. Химический состав и свойства магнитных (легированных) сталей

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Cr	W, Mo	Co	Mn	Si	Ni	P	S
EX3	0,90—1,10	2,60—3,60	—	—	0,20—0,40	0,17—0,40	0,30	0,03	0,02
EB6 (ETB6)	0,68—0,78	0,30—0,50	5,20—6,20	—	0,20—0,40	0,17—0,40	0,30	0,03	0,02
EX5K5	0,90—1,05	5,50—6,50	—	5,50—6,50	0,20—0,40	0,17—0,40	0,30	0,03	0,02
EX9K15M2 (EX9K15M)	0,90—1,05	8,0—10,0	1,00—1,70	13,5—16,5	0,20—0,40	0,17—0,40	0,30	0,03	0,02

ном виде. Такая термообработка приводит к увеличению коэрцитивной силы и остаточной индукции, поскольку при наличии карбидов мартенсит содержит меньше углерода и отличается более высоким магн. насыщением. Для облегчения мех. обработки легированные М. с. подвергают смягчающему *отжигу* при т-ре 650—825° С. Однако *отжиг* при такой т-ре может привести к резкому ухудшению магн. св-в, т. е. к магнит-

МАГНИТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ — свойство материала сопротивляться прохождению магнитного потока по участку магнитной цепи. Для однородного участка цепи (если на нем нет магнитодвижущей силы) М. с. равно отношению падения магн. потенциала на участке к магн. потоку, протекающему через него. Если обра-

Таблица 2. Свойства магнитных (легированных) сталей

Марка стали	$D, \text{г/см}^3$	$\rho, \text{мкОм} \cdot \text{см}$	$\alpha_{20-300} \text{ } ^\circ\text{C}, \text{град}^{-1}$	$\alpha_B \cdot 10^{-4}, \text{град}^{-1}$	$\sigma_B, \text{кгс/мм}^2$	$H_C, \text{э}$	$B_T, \text{эс}$	$(BH)_{\text{макс}} \times 10^6, \text{эс} \cdot \text{э}$	H_B
EX3	7,8	29	12,6	2—3	210	60	9500	0,30	285—229
EB6 (E7B6)	8,1	30	14,5	2—4	210	60	10 000	0,33	321—255
EX5K5	7,8	30	14,0	2	210	90	8500	0,40	341—369
EX9K15M2 (EX9K15M)	7,9	28	—	2	210	150	8000	0,52	341—285

ной «порче», являющейся результатом карбидных превращений. Чтобы восстановить магн. св-ва, применяют *нормализацию* при т-ре 1000—1250° С. Окончательно закалывают на мартенсит при т-ре 800—1050° С, продолжительность нагрева под закалку не превышает 10—15 мин. Для стабилизации св-в изделия подвергают *искусственному старению* (см. *Старение материалов*) при т-ре 100—120° С в течение 4—24 ч. М. с. выплавляют в электр. печах. Сталь марок EX3, EB6, EX5K5 и EX9K15M2 выпускают в виде горячекатаных или кованых прутков круглого (диаметром $\leq 70 \text{ мм}$), квадратного (со стороной квадрата $\leq 70 \text{ мм}$) и прямоугольного (толщиной ≤ 25 , шириной $\leq 50 \text{ мм}$) профиля. М. с. используют для произ-ва постоянных магнитов. Марки и хим. состав углеродистых и легированных М. с. приведены соответственно в ГОСТах 1435—54 и 6862—71.

Лит.: Преображенский А. А. Магнитные материалы и элементы. М., 1976; Постоянные магниты. Справочник. М., 1971; Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Гудремон Э. Специальные стали, т. 1—2. Пер. с нем. М., 1966; Рейнбоот Г. Магнитные материалы и их применение. Пер. с нем. Л., 1974.

В. Г. Тиняев.

зец имеет форму тороида и намагничивающая обмотка намотана на нем равномерно, падение магн. потенциала равно магнитодвижущей силе, а М. с. равно отношению этой силы к магн. потоку. Для однородного участка магн. цепи М. с. вычисляют по ф-ле $r_m = l / S\mu$, где l — длина участка магн. цепи; S — площадь поперечного сечения участка магн. цепи; μ — абс. магнитная проницаемость. Рассчитывая магн. цепи, намагничиваемые переменным током, учитывают *магнитные потери* в ферромагнитных материалах, затраченные на их перемагничивание. В этом случае пользуются комплексными значениями М. с., в к-рых активная составляющая пропорциональна магн. потерям. Применение ферромагнетиков (в электромагнитах, концентраторах магн. потоков и т. д.) усиливает магн. поток, а также направляет его по желаемому направлению. Часто материалы с большим М. с. применяют в качестве магн. шунтов, чтобы уменьшить магн. поток в соответствующем участке магн. цепи. Большое значение имеют материалы, к-рые, будучи частью магн. цепи, намагничиваемой постоянным током, периодически

меняют магн. сопротивление. С их помощью измеряют величину магн. потока, протекающего через участок цепи, и автоматизируют процесс измерения (напр., в феррозондовых коэрцитиметрах и дифференц. магн. приборах, для магнитоструктурного анализа ферромагнитных тел). См. также *Магнитная проводимость*. Лит.: Буль Б. К. Основы теории и расчета магнитных цепей. М.—Л., 1964; Чернышев Е. Т. [и др.]. Магнитные измерения. М., 1969. Д. А. Фридман.

МАГНИТНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД ДЕФЕКТΟΣКОПИИ — метод дефектоскопии ферромагнитных материалов, основанный на использовании люминесцирующего в ультрафиолетовом свете магнитного порошка; разновидность магнитной дефектоскопии. В магнитно-люминесцентном методе, в отличие от магнитно-порошкового метода дефектоскопии, к магн. порошок добавляют люминофор, окрашивающий частицы магн. порошка и вызывающий яркое свечение их в ультрафиолетовых лучах. Для приготовления суспензии применяют магн. порошок люмагпор-1, порошок с люмогеном или антраценом, а также пасты МЛ-1 и МЛ-2 (смеси магн. порошков с люмогеном, антивспенивающей, антикоррозионной и смачивающей добавками), в качестве жидкой среды используют воду, водные растворы с антикоррозионными, антивспенивающими и смачивающими добавками, керосин и очищенные нелюминесцирующие масла типа РМ. Концентрация магн. порошка в суспензии (4 ± 1) г/л, концентрация пасты 32 г/л. По магнитно-люминесцентному методу контролируемые изделия вначале тщательно обезжиривают, а затем намагничивают и покрывают суспензией. Наличие дефектов устанавливают по яркому свечению магн. порошка в местах его скоплений. Методом магнитно-люминесцентной дефектоскопии выявляют поверхностные и близкие к поверхности дефекты с шириной раскрытия 0,1—0,01 мм. Контроль изделий осуществляют с помощью дефектоскопов стационарных — МДС-5, МДС-1,5, УМДЭ-2500 и УМДЭ-1000, передвижных —

ДМП-2, переносных — 777ПМД-5 и др. Кроме того, для осмотра используют стационарные или переносные осветители с ртутно-кварцевыми лампами (напр., ПРК-7М, ПРК-4М, ДРШ-500 и СВД-120А) и светофильтрами из увиолевого стекла (УФС-3 и УФС-6). Крупные изделия осматривают с помощью ультрафиолетового осветителя КР-1Н. М.-л. м. д. применяют для контроля изделий ответственного назначения, особенно если необходимо применить более жесткий режим контроля по сравнению с магнитно-порошковым (напр., для дефектоскопии пружин). Лит.: Денель А. К. Дефектоскопия металлов. М., 1972. А. Д. Сметанко.

МАГНИТНО-МЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ — магнитные материалы, обладающие большой магнитной проницаемостью, малой коэрцитивной силой и малыми гистерезисными потерями. М.-м. м. на основе железа и его сплавов используют с середины 19 в. Различают М.-м. м. металлические и неметаллические (табл.). К наиболее распространенным металлическим М.-м. м. относятся электротехническая сталь, а также сплавы железа, никеля и кобальта с др. металлами. Для увеличения удельного электрического сопротивления, приводящего к снижению потерь на вихревые токи, электротехническую сталь легируют кремнием. В качестве М.-м. м. с повышенной магнитной проницаемостью применяют железоникелевые сплавы (пермаллой, изоперм), легирование их кремнием и др. добавками также уменьшает потери на вихревые токи. Экстремально высокой магн. проницаемостью обладают пермаллой с повышенным содержанием никеля. Если необходима высокая индукция насыщения, применяют низконикелевые пермаллои. В некоторых случаях материал должен отличаться постоянством магн. проницаемости при изменении намагничивающего поля. Этим св-вом обладают подвергнутые термоманитной обработке материалы на основе системы железо — никель — кобальт (напр., перминаар). Среди всех М.-м. м. наибольшей индукцией насыщения отличаются материалы на основе железокобальтовых сплавов (напр., пермендюр). Как М.-м. м. с малыми

потерями на вихревые токи применяются также сплавы железа с алюминием (*альферы*) и сплавы железа с алюминием и кремнием (*альсиферы*). При увеличении содержания в них алюминия улучшаются магн., но ухудшаются пластические св-ва. Для изготовления сердечников реле используют нелегированную сталь. Железо без легирующих добавок вследствие высокой удельной *электропроводности* применяют только для электромагнитов постоянного тока и полюсных башмаков. Металлические М.-м. м. отличаются обычно однородным хим. и фазовым составом, сравнительно небольшой магнитокристаллической *анизотропией* и малой магнитострикцией. Их магн. св-ва улучшают высокотемпературным *отжигом* в вакууме, в среде инертного газа или в водороде, термомагн. обработкой и пластическим деформированием (напр., холодной прокаткой). Высокотемпературный отжиг в вакууме или в среде инертного газа снимает внутренние напряжения у материалов, отлича-

щихся значительной магнитострикцией. Отжиг в водороде, кроме того, дает возможность очищать некоторые материалы (напр., нелегированное железо) от кислорода. Термомагн. обработка приводит к возникновению в материалах *магнитной анизотропии*. При перемагничивании вдоль оси легкого намагничивания материалы обладают улучшенными магн. св-вами. Особенно эффективна термомагн. обработка применительно к пермаллоям и перминварам. В процессе холодной прокатки М.-м. м. также возникает магн. анизотропия и также улучшаются св-ва при перемагничивании вдоль направления оси легкого намагничивания. Сочетая холодную прокатку с последующим высокотемпературным отжигом, получают текстурованные М.-м. м. (напр., *трансформаторную сталь*) с наилучшими св-вами. Металлические М.-м. м. получают выплавкой в индукционных печах

Химический состав, виды обработки и свойства магнитно-мягких материалов

Материал	Содержание компонентов, %	Обработка	B_s , Гс	μ , Гс/э		H_c , э	$\rho \cdot 10^6$, Ом·см
				начальная	максимальная		
Сталь электро-техническая марки Э45	2,8÷3,8Si, 0,06C, остальное железо	—	14 600	600	10 000	0,05	62
Пермаллой марки 80НМ	79,4÷80,6Ni, 5,0÷5,4Mo, остальное железо	Отжиг в водороде при т-ре 1200° С	7000	80 000	250 000	0,01	58
Пермаллой марки 38НС	37,0÷38,5Ni, 2,8÷3,2, Si, остальное железо	Отжиг в вакууме при т-ре 1100° С	9500	3000	25 000	0,15	90
Пермаллой марки 50Н	49,0÷50,5Ni, остальное железо	Отжиг в вакууме при т-ре 1100° С	15 000	2600	30 000	0,15	45
Перминвар марки 47НН	46,0÷48,0Ni, 22,5÷23,5Co, остальное железо	Отжиг в вакууме при т-ре 1000° С и термомагнитная обработка при т-ре 550° С	—	1200	1300	0,5	20
Супермендюр марки 49КФ2	48,0÷49,5Co, 1,7÷2,0V, остальное железо	Отжиг в вакууме при т-ре 820° С	23 500	800	10 000	0,375	40
Феррит никель-цинковый марки 2000НН	66,8Fe ₂ O ₃ , 10,0NiO, 23,2ZnO	—	2600	2000	7000	0,1	10 ⁶

(открытых, вакуумных или с контролируемой газовой средой), электрошлаковым, электроннолучевым или плазменно-дуговым переплавом. Из-за высокой электропроводности металлических М.-м. м. (за исключением тонких пленок) непригодны для эксплуатации в высокочастотных переменных магн. полях. К неметаллическим М.-м. м. относятся ферромагнитные материалы, изготавливаемые методами порошковой металлургии (никельцинковые, магниймарганцевые и др. ферриты). К металлическим и неметаллическим М.-м. м. спец. назначения относятся терромагнитные материалы, магнотострикционные материалы (применяемые из-за малой электропроводности в области высоких частот), магнитодиэлектрические материалы. М.-м. м. используют для изготовления магнитопроводов и магн. экранов, сердечников реле, трансформаторов, дросселей, катушек индуктивности, а также магн. элементов проводной и радиосвязи, автоматики, радиолокации. В технике сверхвысоких частот и вычислительной технике применяют пермаллоевые пленки, ферритовые и магнитодиэлектрические сердечники. М.-м. м. нормированы ГОСТами 802—58 и 9925—61. См. также Гиперко.

Лит.: Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Хек К. Магнитные материалы и их техническое применение. Пер. с нем. М., 1973. А. Г. Лесинг.

МАГНИТНО-ПОРОШКОВЫЙ МЕТОД ДЕФЕКТΟΣКОПИИ — метод дефектоскопии ферромагнитных материалов с помощью магнитного порошка; разновидность магнитной дефектоскопии. В основу метода положено свойство магн. потоков изменять величину и направление, если на их пути в материале встречаются дефекты (трещины, пузыри, расслоения, раковины, неметаллические включения и др.), отличающиеся меньшей магнитной проницаемостью по сравнению с бездефектной частью. В дефектных местах магн. потоки рассеиваются, образуя на краях дефектов магн. полюсы, к которым и притягиваются частицы сухого магн. порошка («сухой» метод) или его частицы, содержащиеся в

суспензии («мокрый» метод). По расположению частиц порошка судят о местонахождении и виде дефекта. Контролируемые изделия посыпают порошком или поливают суспензией на основе закиси-окиси железа (F_3O_4) черного или темно-коричневого цвета с величиной частиц не больше 50 мкм. Контроль осуществляют с помощью дефектоскопов: стационарных — УМДЭ-2500 и УМДЭ-10 000, передвижных — ДМП-2, переносных — ПМД-70 и др. Методом магнитно-порошковой дефектоскопии выявляют поверхностные дефекты с шириной раскрытия $0,001 \div 0,3$ мм и подповерхностные дефекты на глубине $0,3 \div 2$ мм. Его применяют в промышленности для контроля изделий ответственного назначения.

Лит.: Акулов Н. С. Магнитный анализ металлов. «Вестник металлопромышленности», 1940, № 4—5; Еремин Н. И. Магнитная порошковая дефектоскопия. М.—Л., 1947; Жигалов А. В. Контроль деталей методом магнитного порошка. М., 1951; Денель А. К. Дефектоскопия металлов. М., 1972. Л. С. Фельдман.

МАГНИТНОСТЬ — 1) Магнитность минералов — изменение магнитных свойств минералов под действием магнитного поля. Магн. поле, вызывающее ориентацию элементарных магнитов (электронных орбит, спинов), чаще всего намагничивает минерал. Обычно намагниченность I (пока она сравнительно мала) прямо пропорциональна напряженности магн. поля H , т. е. $I = \chi H$, где χ — удельная магнитная восприимчивость минерала. В зависимости от величины и знака удельной магн. восприимчивости (табл.) различают диа-, пара- и ферромагн. минералы.

Диамагнетизм ($\chi < 0$) проявляется, когда в минерале нет постоянных

Удельная магнитная восприимчивость, отражающая магнитность минералов

Минерал	$\chi \cdot 10^6$, см ³ /г	Минерал	$\chi \cdot 10^6$, см ³ /г
Графит	—6,2	Флюорит	—0,285
Апатит	—2,64	Биотит	23—80
Алмаз	—0,49	Ильменит	113—271
Кварц	—0,46	Гематит	172—190
Кальцит	—0,377		

магн. моментов. Внешнее магн. поле индуцирует магн. моменты, направленные против него. Все минералы в принципе диамагнитны, однако этот эффект часто маскируется более сильными пара- и ферромагн. эффектами. Магн. восприимчивость большинства диамагн. минералов не зависит от т-ры. В *монокристаллах* вектор намагниченности не всегда параллелен направлению магн. поля, что проявляется в *магнитной анизотропии* диамагн. кристаллов. Значения магн. восприимчивости, измеренные вдоль гл. осей и перпендикулярно к ней, отличаются, напр., у *графита* в 50 раз. Парамагн. минералы притягиваются к полюсам сильных магнитов. Магн. восприимчивость этих минералов положительна и меняется с т-рой по закону Кюри — Вейса: $\chi = C'/(T + \Delta)$, где C' — постоянная Кюри; T — абс. т-ра; Δ — постоянная, к-рая может быть как положительной, так и отрицательной. Магн. восприимчивость нек-рых минералов зависит от т-ры по закону Кюри: $\chi = C'/T$. Среди парамагн. минералов выделяют антиферромагнетики, для к-рых характерно наличие двух равных, но противоположно направленных систем спинов с суммарным нулевым моментом. К антиферромагнетикам относятся минералы (MnO , FeO , MnS , FeS), в состав к-рых входят элементы переходной группы. Такие минералы обладают критической антиферромагн. *Кюри точкой*, выше к-рой ведут себя как обычные парамагнетики. Магн. восприимчивость ферромагн. минералов (напр., *гематита*) положительна и достигает больших значений. Дифференциальная магн. восприимчивость ферромагн. минералов $\chi = dM/dH$ из-за нелинейности кривых намагничивания не постоянна. Магн. восприимчивость диа- и парамагн. минералов измеряют, определяя силу, действующую на них в неоднородном магн. поле (методы Гауи и Фарадея), а также различными резонансными методами (электронного парамагн. резонанса, ядерного магн. резонанса и др.). Кривую намагничивания и петлю гистерезиса ферромагн. минералов измеряют в основном баллистическим и магнетометрическими методами. См. также

Антиферромагнитные материалы, Диамагнитные материалы, Парамагнитные материалы, Ферромагнитные материалы.

Лит.: Поваренных А. С. О магнитных свойствах минералов. «Минералогический сборник Львовского геологического общества», 1957, № 11; В о н с о в с к и й С. В. Магнетизм. М., 1971.

В. К. Куделя.

2) **Магнитность горных пород** — изменение магнитных свойств горных пород под действием магнитного поля. Проявляется как в магн. поле, так и в его отсутствие, обусловлена наличием ферри- и ферромагн. минералов (магнетита, титаномагнетита, *гематита*, пирротина и др.). К осн. магн. свойствам пород относятся *магнитная восприимчивость* и *остаточная намагниченность*. Магн. восприимчивость зависит от вида, состава и количественного содержания магн. минералов, размеров и структуры их зерен, т-ры и давления. У большинства пород она пропорциональна содержанию магнетита. Если на породу действуют упругие нагрузки (см. *Упругость*), магн. восприимчивость уменьшается в направлении, параллельном направлению приложенного давления. Уменьшается магн. восприимчивость и при всестороннем сжатии. Если породу нагревать, магн. восприимчивость изменяется вначале медленно, а затем резко уменьшается с приближением к *Кюри точке*. У интрузивных пород магн. восприимчивость в слабых магн. полях составляет $10^{-4} \div 10^{-2}$, у эффузивных $10^{-6} \div 10^{-4}$, у метаморфических $10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-4}$, у осадочных пород менее 10^{-5} единиц. Намагниченность, к-рая индуцируется внешним магн. полем, определяют по ф-ле $I_i = \chi H_e$, где I_i — намагниченность; χ — магн. восприимчивость; H_e — напряженность внешнего магн. поля. Остаточная намагниченность соответствует $H_e = 0$ и обусловлена не только количеством и составом магн. минералов, но и временем, т-рой, упругими нагрузками и др. Различают намагниченность изотермическую (под дей-

ствием только постоянного магн. поля), вязкую (в результате продолжительного в геологическом масштабе времени действия геомагн. поля), пьезоостаточную (при одновременном действии геомагн. поля и мех. нагрузок), ориентационную (при осаждении магн. зерен в геомагн. поле), химическую (в процессе хим. превращения магн. вещества в геомагн. поле) и термоостаточную (при охлаждении породы от высоких t -р в геомагн. поле). В зависимости от происхождения у породы может быть намагниченность одного или нескольких видов. Суммарной является естественная остаточная намагниченность. У интрузивных пород она составляет $3 \cdot 10^{-4} \div 4 \cdot 10^{-2}$, у эффузивных $10^{-6} \div 3 \cdot 10^{-3}$, у метаморфических $8 \cdot 10^{-5} \div 2,7 \cdot 10^{-1}$, у осадочных $2 \cdot 10^{-6} \div 4 \cdot 10^{-4}$ эрг/гс \times \times см³. Чувствительность того или иного вида намагниченности к воздействию t -ры различна. Наиболее стабильна термоостаточная намагниченность. Намагниченности всех видов, кроме пьезоостаточной, уменьшаются при высоких давлениях. Стабильность естественной остаточной намагниченности к размагничивающим факторам определяется *коэрцитивной силой* магн. минерала, величина k -рой зависит в основном от размера и формы магн. зерен, внутренних напряжений, дефектов кристаллической решетки (см. *Дефекты в кристаллах*), наличия примесей и разного рода неоднородностей. М. измеряют с помощью капнометров, аstaticеских магнитометров и рокк-генераторов.

Лит.: Дортман Н. Б. [и др.]. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. М., 1964; Храмов А. Н., Шолпо Л. Е. Палеомагнетизм. Л., 1967; Нагата Т. Магнетизм горных пород. Пер. с англ. М., 1965. Н. Ф. Познанская, Б. Я. Савенко.

МАГНИТНО-ТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ — магнитные материалы, обладающие малой *магнитной проницаемостью*, большой *коэрцитивной силой* и большими гистерезисными потерями. Различают М.-т. м. металлические (сплавы, соединения, стали) и окисные (ферриты, окислы

переходных металлов); литые (сплавы), деформируемые (сплавы, стали), спеченные (сплавы, соединения, ферриты), осажденные на основу из различных материалов (сплавы, окислы) и металлопластические (порошки сплавов или ферритов в наполнителе). М.-т. м. используют гл. обр. для изготовления постоянных магнитов, активной части роторов гистерезисных электр. двигателей, носителей магн. записи и элементов памяти автоматических систем. М.-т. м., используемые для изготовления постоянных магнитов (табл.), предназначены для создания магн. поля в рабочем пространстве. К этим материалам относятся, напр., углеродистые и легированные хромом, вольфрамом или кобальтом магнитно-твердые стали (марок ЕХЗ, ЕВ6, ЕХ5К5, ЕХ9К15М2), закаливаемые на *мартенсит*. Они изотропны, прочны, поддаются обработке резанием, но из-за низких магн. свойств применяются в климатическом интервале температур для магнитов неответственного назначения. Наибольшее применение для магнитов находят дисперсионно-твердющие изотропные сплавы системы железо — никель — алюминий (типа ЮНД) и анизотропные сплавы на основе систем железо — кобальт — никель — алюминий и железо — кобальт — никель — алюминий — титан типа ЮНДК и ЮНДКТ (см. также *Альни, Альники, Альниси, Магники*). Их *магнитная анизотропия*, улучшающая св-ва, достигается *термомагнитной обработкой*, направленной *кристаллизацией* или выращиванием *монокристаллов*. Сплавы отличаются хорошей температурной стабильностью, но они хрупки, тверды, плохо поддаются мех. обработке. Некоторые из них можно подвергать горячему деформированию, улучшающему магн., мех. и эксплуатационные св-ва. Методами порошковой металлургии получают спеченные сплавы марок ММК, однако их св-ва из-за пористости хуже св-в литых сплавов. В системах, подверженных воздействию полей высокой частоты, сильных магн. полей и др. воздействиям, применяют магнитно-твердые ферриты. Их высокое удельное *электрическое сопротивление* практически

исключает возможность возникновения вихревых токов, а стабильность обеспечивается высокой коэрцитивной силой, которая выше, чем у сплавов системы железо — кобальт — никель — алюминий — титан. Хрупкость и твердость ферритов сочетаются с малой плотностью ($3,3-5 \text{ г/см}^3$). К магнитно-твердым относятся, напр., изотропные ферриты бария (марок 0,7БИ, 1БИ) и анизотропные ферриты бария (марок 2БА, 3БА), стронция (марок 3СА, 3,5СА) и кобальта (марок 1,5ФК, 2ФК). Магн. св-ва анизотропных ферритов повышают пресованием в магн. поле (ферриты бария и стронция) или термомагн. обработкой (феррит кобальта). Феррит кобальта отличается малым температурным коэфф. индукции,

особенно при низких температурах. Магнитно-твердые ферриты изготовляют в виде тороидов, брусков, сегментов и пластин и применяют в электронных приборах, фокусирующих системах, электр. машинах, громкоговорителях, реле, сепараторах, удерживающих устройствах. Более высокой, чем у ферритов, коэрцитивной силой характеризуются соединения кобальта с редкоземельными металлами цериевой подгруппы, иттрием или лантаном (RCO_5 и R_2Co_{17}). Самой высокой среди М.-т. м. магн. энергией (выше $25 \cdot 10^6 \text{ эс} \cdot \text{э}$) отличаются соединения SmCo_5 и $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$. Технология их изготовления

Химический состав, обработка и свойства магнитно-твердых материалов для постоянных магнитов

Марка материала	Содержание элементов, %	Обработка	B_r , гс	H_c , э	$(BH)_{\text{макс}} \times 10^6$, гс·э
ЮН13ДН24 (литой)	23,5—24,5Co, 12,5—13,5Ni, 7,5—8,5Al, 2,5—3,5Cu, остальное железо	Охлаждение в магнитном поле и отпуск	12 500	500	4,5
ЮН15ДН25БА (литой)	24,0—26,0Co, 14,5—15,5Ni, 8,3—8,7Al, 4,0—4,5Cu, 1,0—1,4Nb, остальное железо	Ступенчатое охлаждение с контролируемой скоростью в магнитном поле	12 500	770	7,0
ЮНДН35Т5АА (литой)	34,5—35,5Co, 14,0—14,5Ni, 7,0—7,5Al, 2,5—3,0Cu, 4,0—5,0Ti, остальное железо	Охлаждение с контролируемой скоростью, изотермическая выдержка в магнитном поле и отпуск	10 500	1500	10,0
ММК8 (спеченный)	—	По утвержденному технологическому процессу	11 000	500	3,5
ММК11 (спеченный)	—	По утвержденному технологическому процессу	7000	1600	4,0
ЗБА	81,5Fe ₂ O ₃ , 18,5BaO	Прессование в магнитном поле и обжиг	3750	3300	3,25
ПЛК-78	76,5—79,5Pt, остальное кобальт	Охлаждение с контролируемой скоростью и отпуск	6400	4800	9,2
52К11Ф (лист)	52,0—54,0Co, 10,0—11,5V, остальное железо	Холодное деформирование и отпуск	10 000	220	—
52КФТМ (проволока)	52,0—54,0Co, 13,0V, остальное железо	Холодное деформирование и отпуск под нагрузкой	9000	400	—
ЕХ5К5	0,9—1,05C, 5,5—6,5Cr, 5,5—6,5Co, остальное железо	Нормализация, высокий отпуск, закалка и старение	8500	90	—

получение мелкого порошка, ориентацию и уплотнение частиц в сильном магн. поле (текстурирование), спекание и отпуск. Чтобы улучшить св-ва, частицы порошка подвергают хим. травлению, покрывают топким слоем никеля, олова и др. Наилучшую температурную стабильность до $t = 150-200^\circ \text{C}$ обеспечивает жидкофазное спекание с применением одного из соединений самария, напр. SmCo_2 . Введение меди, железа и марганца позволяет получать литые сплавы с энергией $\sim 20 \cdot 10^6 \text{ гс} \cdot \text{э}$. Частичная замена самария гадолинием и тербием улучшает температурную стабильность и дает возможность изменять величину температурного коэфф. магн. индукции. М.-т. м. типа $\text{R} - \text{Co}$ отличаются *хрупкостью, твердостью*, их обрабатывают электроэрозионным резанием и шлифованием, изготавливают в том же сорimente, что и ферриты. Сочетание высоких магн. свойств позволяет использовать эти материалы для принципиально новых решений в электромашиностроении, электронике, радиотехнике и др. Для небольших магнитов, в особенности магнитов малых сечений, применяют сплавы систем железо — кобальт — ванадий, железо — хром — никель, медь — никель — кобальт, медь — никель — железо, кобальт — платина. Наиболее распространены сплавы системы железо — кобальт — ванадий (марки 52КФ) (см. *Викалоу*). Сплавы системы железо — хром — никель обладают высокой *коррозионной стойкостью*, стабильностью магн. и мех. свойств при t -ре от -100 до 350°C , *прочностью и пластичностью* в высококоэрцитивном состоянии, их не нужно подвергать термической обработке после холодного деформирования, они стойки по отношению к внешним воздействиям. Из них получают проволоку и ленту микронных сечений. Такую же стойкость проявляют сплавы *кунико* и *кунифе*. Из-за склонности к окислению их не подвергают обработке в горячем состоянии, а окончательную и промежуточные термообработки проводят в защитной среде. После термо-

обработки на высококоэрцитивное состояние возможны резание, гибка и штампование, не ухудшающие магн. свойств. Среди деформируемых М.-т. м. наиболее высокой магн. энергией и коэрцитивной силой обладает эквивалентный сплав кобальта с платиной марки PtK78 , однако из-за высокой стоимости его используют лишь для миниатюрных магнитов особо ответственного назначения. Полуфабрикаты из деформируемых М.-т. м. изготавливают в виде проволоки, лепт, полос или прутков. Если необходимо точно выдержать хим. состав, повысить однородность свойств и прочность по сравнению с литыми материалами, изготавливают спеченные М.-т. м. Наряду со сплавами альни, альнико, $\text{R} - \text{Co}$ и ферритами спекание получают сплавы *кунико*, *кунифе*, *комол*, а также сплавы системы кобальт — платина. Иногда после спекания М.-т. м. подвергают пластическому деформированию с последующей обработкой резанием или штампованием. Порошки сплавов системы железо — кобальт — никель — алюминий и ферритов используют также для получения металлопластических М.-т. м., содержащих связующее вещество, напр. смолу или резину. Из таких М.-т. м. изготавливают постоянные магниты с большим электрическим сопротивлением или эластичные, а также дешевые магниты. Для постоянных магнитов, испытывающих влияние сильных внешних полей, и магнитов с большим размагничивающим фактором (намагниченных перпендикулярно плоскости или длине) применяют М.-т. м. с коэрцитивной силой выше $1,5-2 \text{ кэ}$. Чтобы перед применением стабилизировать их магн. свойства, прибегают к магн. старению (см. *Старение материалов*). Для создания крутящего момента ротора гистерезисных электр. двигателей применяют гл. обр. деформируемые М.-т. м., более технологичные и прочные, чем литые или спеченные. Они намагничиваются и работают во вращающемся поле статора напряженностью от 25 до 400 э. К ним относятся холоднодеформируемые сплавы систем железо — кобальт — ванадий, железо — кобальт — хром — ванадий, железо — кобальт — никель — ванадий (в виде

листов и проволоки), а также горячечедеформируемые сплавы систем железо — кобальт — вольфрам — молибден и железо — хром — вольфрам — молибден (в виде поковок и листов). В электр. двигателях с пониженными параметрами могут использоваться горячечедеформируемые сплавы системы железо — никель — алюминий и холоднодеформируемые сплавы системы железо — никель — марганец. Для записи, хранения и последующего воспроизведения звука, изображения или закодированной информации применяют разные тонкослойные (в пескоструйном микрон) порошковые или осажденные М.-т. м., нанесенные на основу из немагнитных материалов. В металлизированных лентах, магн. дисках и барабанах используют покрытия из сплавов систем кобальт — никель, кобальт — вольфрам, кобальт — никель — фосфор и др., которые наносят вакуумным напылением, гальваническим или хим. осаждением. Для металлических носителей магн. записи применяют тонкую ленту и проволоку гл. обр. из сплавов системы железо — никель — хром. Для элементов памяти автоматических систем используют сплавы на основе системы железо — кобальт — хром (марок 30КХ15, 35КХ12) и системы железо — кобальт — никель — ванадий (марки 25КФН14). Наибольшее применение нашел сплав марки 30КХ15 (в виде листов толщиной 0,35 и 0,7 мм). Сплавы получают холодным деформированием с высокой степенью обжатия и последующим отпуском. Чувствительность сплавов к содержанию примесных элементов, в особенности углерода, затрудняет их массовое производство. Этого недостатка лишены сплавы на основе систем железо — никель и железо — никель — кобальт. Хим. состав и св-ва М.-т. м. регламентируют ГОСТы 17809 — 72, 13596 — 68, 10994 — 74, 18834 — 73, 13265 — 67, 6862—71 и отраслевые нормативные документы.

Лит.: Материалы в приборостроении и автоматике. Справочник. М., 1969; Диконский Я. М., Капранов И. И. Магнитоуправляемые контакты. М., 1970; Постоянные магниты. Справочник. М., 1971; Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Вольфарт Э. Магнитотвердые материалы. Пер. с англ. М.—Л.,

1963; Рейпбот Г. Магнитные материалы и их применение. Пер. с нем. Л., 1974.

И. Н. Потапов.

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, относительная магнитная восприимчивость которых значительно больше единицы. Магнетизм — особая форма взаимодействия, возникающих между движущимися электрически заряженными частицами. Источником магнетизма (спинового и орбитального) являются электроны и нуклоны, вследствие чего все тела следует считать магнетиками. М. м. подразделяют на ферромагнитные и ферримагнитные. В ферромагн. материалах вследствие сильного обменного взаимодействия атомов, обладающих собственным магн. моментом, происходит их параллельная ориентация, и даже при отсутствии внешнего магн. поля микроскопические области М. м. (т. н. домены) оказываются намагниченными (см. также *Ферромагнитные материалы*). Ферримагн. материалы относятся к антиферромагнитным, в к-рых магн. момент подрешетки одной магн. ориентации не равен магн. моменту подрешетки антипараллельной ориентации. В результате в ферримагн. материале тоже образуются домены со значительным магн. моментом (см. также *Антиферромагнитные материалы*, *Ферримагнитные материалы*). Во внешних магн. полях магн. моменты всех доменов ориентируются по направлению поля. Переход к такому состоянию магн. насыщения (описываемому намагниченностью насыщения) осуществляется вследствие роста доменов и в результате вращения магн. моментов по направлению поля. Если после этого внешнее магн. поле уменьшить до нуля, намагниченность М. м. снизится до некоего конечного значения (остаточная намагниченность), т. е. у них наблюдается гистерезис. Чтобы добиться полного размагничивания, М. м. помещают в магн. поле противоположного направления, напряженность которого наз. *коэрцитивной силой*. При перемагничивании М. м. с большой частотой появляются потери энергии, наз. *магнитными потерями*. Ферромагнетики,

как правило, являются металлами, поэтому значительную часть магн. потерь составляют потери на вихревые токи, к-рые в ферромагн. материалах, отличающихся высоким *электрическим сопротивлением*, значительно ниже. Магн. проницаемость $M. m.$ зависит от величины магн. поля и т-ры. При т-ре выше *Кюри точки* (для ферромагнетиков) и *Нееля точки* (для ферримангнетиков) тепловая энергия достаточна для разрушения магн. упорядоченности и $M. m.$ становятся *парамагнитными материалами*. Смесь ферромагнитного порошка и связки-диэлектрика, связанная в единый конгломерат, со сравнительно высокими магн. св-вами и достаточно большим электр. сопротивлением наз. *магнитодиэлектриками* (см. *Магнитодиэлектрические материалы*). $M. m.$ подразделяют на *магнитно-мягкие материалы*, к-рые намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в относительно слабых магн. полях, обладают низкой коэрцитивной силой и высокой начальной и максимальной магн. проницаемостью; *магнитно-твердые материалы*, характеризующиеся большой остаточной индукцией и коэрцитивной силой, а также материалы спец. назначения: с прямоугольной петлей гистерезиса (ферриты, текстурованные ферромагн. сплавы в виде тонких лент и ферромагн. пленки), ферриты для сверхвысокочастотных устройств, *термомагнитные материалы*, *магнитострикционные материалы*, *сверхпроводящие магнетики* и *магнитооптические материалы*. Лит.: Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971; Бозорт Р. Ферромагнетизм. Пер. с англ. М., 1956; Хек К. Магнитные материалы и их техническое применение. Пер. с нем. М., 1973.

В. А. Горбатюк.

МАГНИТНЫЕ ПОТЕРИ — энергия, выделяющаяся в виде тепла при периодическом перемагничивании *магнитных материалов* в переменном магнитном поле. За один цикл перемагничивания $M. p.$ пропорциональны площади динамической петли гистерезиса. $M. p.$ состоят из потерь на статистический гистерезис, вихревые токи и магн. вязкость, в значительной

степени степени зависят от хим. состава, совершенства кристаллической решетки, величины зерна, магн. структуры материала, а также от амплитуды и частоты намагничивающего поля. На величину $M. p.$ влияют т-ра, упругие напряжения, термическая и мех. обработка материала. Мерой $M. p.$ являются удельные потери — мощность $M. p.$, отнесенная к единице массы материала. Иногда (напр., в технике слабых токов) $M. p.$ выражают через угол магн. потерь, равный углу сдвига фаз между синусоидально изменяющимися во времени напряженностью магн. поля и индукцией. Если кривые изменения индукции или напряженности магн. поля отличаются от синусоидальных, расчет ведут по эквивалентным синусоидам. Величину удельных $M. p.$ учитывают при выборе материалов для электр. машин, силовых трансформаторов и др. (табл.).

На величину $M. p.$ металлических материалов, особенно при повышенных частотах, в значительной степени влияют вихревые токи. Эту часть потерь уменьшают, снижая *электропроводность* материала при *легировании* (напр., легировании кремнием *электротехнической стали*) и применяя магнитопроводы из тонких листов, электрически изолированных друг от друга. У этих листов, также как и у материалов с высоким *электрическим сопротивлением* (напр., у *ферримангнитных материалов*), с ростом частоты увеличивается часть потерь, связанных с магн. вязкостью. $M. p.$

Удельные магнитные потери электротехнической стали

Марка стали	Толщина листа, мм	Удельные потери, вт/кг
Э11	1,0	$\leq 5,8$
Э11	0,5	$\leq 3,3$
Э31	0,50	$\leq 2,0$
Э31	0,35	$\leq 1,6$
Э43А	0,50	$\leq 1,15$
Э43А	0,35	$\leq 0,9$
Э330	0,50	$\leq 0,8$
Э330	0,35	$\leq 0,5$

П р и м е ч а н и е: Амплитуда синусоидального изменения индукции 1 тл; частота переменного тока 50 гц.

чаще всего измеряют ваттметровым, калориметрическим, потенциометрическими и мостовыми методами. Ваттметровым методом измеряют активную мощность, расходуемую в намагничивающей цепи. Калориметрический метод основан на измерении количества тепла, выделяющегося при перемагничивании материала. Потенциометрическими и мостовыми методами определяют активную составляющую полного сопротивления катушки, в которую помещен испытуемый образец. Измерения М. п. используют для магнитоструктурного анализа (в частности, для неразрушающего контроля ферромагн. изделий). Изучение М. п. неорганических материалов представляет интерес для магнетохимии.

Л. А. Фридман.

МАГНИТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЕФЕКТОСКОПИИ — метод дефектоскопии, основанный на регистрации магнитных полей рассеяния на дефектах материала с использованием в качестве индикатора ферромагнитной пленки. По М. м. д. изделие, подлежащее контролю, намагничивают в пост. магн. поле, а затем накладывают на него широкую ферромагнитную пленку. Поля рассеяния намагничивают прилегающие к дефектным зонам участки пленки, создавая на ней «магнитное изображение» дефектов. Если пленку с таким изображением перемещать под магнитофонной головкой, то при прохождении ее намагниченного участка магнитный поток в головке изменится. Этот сигнал после соответствующего усиления подается на электроннолучевой индикатор. В зависимости от способа развертки сигналы от дефектов регистрируются либо в виде всплесков на линии развертки, либо в виде изображения в плане (такое изображение облегчает разделение сигналов от дефектов материала и от неровностей на поверхности изделия). Разновидностью М. м. д. является способ, по которому магнитофонной головкой исследуется непосредственно поверхность изделия.

М. м. д. позволяет обнаружить несовершенства материала на глубине до 6—8 мм, однако расшифровка показаний требует большого опыта.

Лит.: Денель А. К. Дефектоскопия металлов. М., 1972. М. В. Белоус.

МАГНИТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, магнитодиэлектрики — магнитные материалы, состоящие из электрически изолированных друг от друга ферромагнитных частиц, связанных в единый конгломерат неферромагнитным диэлектрическим материалом. Используются с 20-х гг. 20 в. Различают М. м. магнитно-мягкие (см. *Магнитно-мягкие материалы*) и магнитно-твердые (см. *Магнитно-твердые материалы*). Магнитодиэлектрические магнитно-мягкие материалы содержат в качестве магн. наполнителя порошки ферромагнитных сплавов (см. *Ферромагнитные материалы*) с низкой коэрцитивной силой и высокой начальной магнитной проницаемостью, напр. порошки из альсифера или молибденового пермаллоя со средним размером частиц $d_{\text{ч}} = 10 \div 100$ мкм. Широко используют также порошкообразное железо карбонильное и порошки магнитно-мягких ферритов (см. *Ферритоматериалы*). Магн. св-ва таких М. м. зависят от вида магн. наполнителя, формы и размера ферромагнитных частиц, а также коэфф. магн. заполнения $P_{\text{об}}$. Так, из порошка никельцинкового феррита с начальной магн. проницаемостью $\mu_a = 440$ гс/э (при $P_{\text{об}} = 0,71$) получают М. м. с начальной магн. проницаемостью 9 гс/э (при $d_{\text{ч}} = 1$ мкм) и 19 гс/э (при $d_{\text{ч}} = 170$ мкм). При уменьшении $P_{\text{об}}$ до 0,5 начальная магн. проницаемость М. м. из этого порошка ($d_{\text{ч}} = 170$ мкм) снижается до 8 гс/э. Магнитно-мягкие М. м. подразделяют на механически твердые — ферропласты и эластичные — ферроэласты. Кроме начальной магн. проницаемости, ферропласты характеризуются составляющими тангенса угла магн. потерь $\text{tg } \delta_m$, определяющими его зависимость от частоты f и напряженности поля H , т. е. $\text{tg } \delta_m = \delta_a H + \delta_{\text{ч}} f + \delta_n$, где δ_a , $\delta_{\text{ч}}$ и δ_n — соответственно коэфф. амплитудных (зависящих от гистерезиса), частотных (зависящих в основном от вихревых токов) и начальных (зависящих от

магн. вязкости) потерь. К важным показателям ферропластов относятся также коэффициенты, характеризующие нестабильность начальной магн. проницаемости при изменении напря-

женности поля и т-ры: $\alpha = \frac{\Delta \bar{\mu}}{\Delta H} \times$
 $\times \frac{1}{\mu_a}$ и $\beta = \frac{\Delta \bar{\mu}_a}{\Delta t} \cdot \frac{1}{\mu_a}$. Коэфф.
 α и δ_a связаны ф-лой $\alpha = \frac{3\pi}{4} \delta_a$.

При изготовлении ферропластов ферромагн. порошок смешивают с диэлектриком и спрессовывают. В состав диэлектр. фазы ферропластов вводят растворимое стекло, тальк, хромовый ангидрид, стеклоэмали, органический диэлектрики. Для ферропластов, получаемых прессованием при высоком давлении (до 10—20 тс/см²) с последующим снятием нагрузки отжигом (при т-ре 500—900° С), применяют только неорганические диэлектр. материалы. Изменяя коэфф. магн. заполнения и размер ферромагн. частиц, можно получить для каждого исходного ферромагнетика М. м. с различными с-вами для разных условий применения (табл.).

Ферропласты применяют для изготовления сердечников катушек индуктивности звуковых и радиочастот. Для радиотехнической аппаратуры выпускают сердечники стержневого, бронзового, ш-образного, винтового и др. типов, гл. обр. из карбонильного железа, для телефонной аппаратуры — тороидальные сердечники из ферропластов на основе альсифера и молибденового пермаллоя. Ферроэласты содержат в качестве магн. фазы карбонильное железо или молотые пикельцинковые ферриты, в качестве диэлектр. фазы — резину из натурального или синтетического каучука, полиэтилен или полихлорвинил. Ферроэласты на основе никельцинковых ферритов имеют большое удельное электр. сопротивление ($10^{10} \div 10^{12}$ ом · см); их пробивное напряжение достигает нескольких десятков кВ/см. Для обеспечения значительной эластичности коэфф. магн. заполнения ферроэластов не должен быть более 0,65—0,72, поэтому зна-

чение их относительной магн. проницаемости не превышает 25 ÷ 30 эс/э. Ферроэласты используют для изготовления герконовых реле, комбинированных магн. экранов (состоящих из тонкостенных медных или алюминиевых сосудов, выложенных внутри ферроэластовыми листами), ферромагн. покрытия кабелей и в других устройствах. Коэрцитивная сила ферроэластов от 1 до 5 э. Магнитодиэлектрические магнитно-твердые материалы также подразделяют на механически твердые — магнитопласты и эластичные — магнитоэласты. Магнитопласты изготовляют из высококоэрцитивных порошков никельалюминиевых сталей, ферритов бария или стронция, весьма тонких порошков железа или железокобальтовых сплавов с размером частиц менее 1 мкм. Магнитопласты, как и ферропласты, получают прессованием смеси ферромагн. порошка с диэлектриком; их магн. св-ва в за-

Свойства магнитодиэлектрических материалов (ферропластов)

Марка материала	μ_a , эс/э	$\delta_a \cdot 10^3$, 1/э	$\delta_{\text{ч}} \cdot 10^3$, 1/э	$\delta_H \cdot 10^3$	$\beta \cdot 10^6$
-----------------	----------------	-----------------------------	--------------------------------------	-----------------------	--------------------

Ферропласты на основе молибденового пермаллоя

П-250	230—270	8	1000	3	200
П-140	130—150	5	450	2	120
П-100	90—110	2,5	200	2	100

Ферропласты на основе альсифера

ГЧ-90	82—94	7	1000	3	—400 ÷ —500
ГЧ-60	55—65	5	250	2	—300 ÷ —400
ГЧК-50	50—60	5	250	2	—150 ÷ +50
ВЧ-32	30—34	2	85	1,2	—200 ÷ —250
ВЧ-22	22—24	1,2	12	1,2	—150 ÷ —200
ВЧК-22	20—24	1,2	12	1,2	+10 ÷ —50

Ферропласты на основе карбонильного железа

Р-10	10—11	0,2—0,3	2—4	0,15—0,25	150—200
Р-20	10—11	0,15—0,25	1,5—3,5	0,05—0,10	100—150
Р-100	9—10	0,1—0,15	0,5—1,2	0,05—0,10	50—100

нисимости от вида магн. наполнителя, формы и размера ферромагн. частиц, а также коэфф. магн. заполнения находятся в пределах: коэрцитивная сила $300 \div 1200$ э; остаточная магн. индукция от 2000 до 10 000 гс, магн. энергия от $0,3 \cdot 10^6$ до $0,6 \cdot 10^6$ гс·э. Уступая по величине остаточной магн. индукции и магн. энергии монокристаллическим материалам, магнитоэласты превосходят их по однородности св-в; кроме того, технология их изготовления проще и стоимость ниже, вследствие чего они часто используются как малые магниты с небольшим стабильным магн. потоком. Магнитоэласты изготавливают из смеси высококоэрцитивных порошков, напр. ферритов бария или стронция, с различными эластичными высокомолекулярными соединениями. Хотя по осн. св-вам (коэрцитивная сила 1000—1200 э, остаточная магн. индукция 1800 гс, магн. энергия $0,4-0,55$ гс·э) магнитоэласты уступают не только однородным материалам, но и магнитоэластам, эластичность делает их ценным магн. материалом для тех устройств, где сочетание магнитно-твердых и электроизоляционных св-в с большой эластичностью дает возможность решать мн. технические задачи. Из магнитоэластов изготавливают магниты для герконовых реле, магн. замки холодильников, а также ленты для магн. записи звука и др. информации, состоящие из эластичной диэлектр. основы толщиной 10—35 мкм, на которую поливом нанесен магнитоэластовый слой толщиной 10—20 мкм. В качестве магн. фазы рабочего слоя таких лент используют обычно тонкие порошки $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ с осколочными или игольчатыми частицами длиной до 1 мкм и до 0,1 мкм в поперечнике. Коэрцитивная сила лент достигает $200 \div 600$ э. В процессе полива частицы игольчатой формы ориентируют внешним магн. полем так, чтобы остаточная индукция ленты в рабочем направлении увеличивалась.

Лит.: Рабкин Л. И. Высокочастотные ферромагнетики. М., 1960; То л м а с с к и й И. С. Металлы и сплавы для магнитных сердечников. М., 1971; Постоянные магниты. Справочник. М., 1971.

Л. И. Рабкин.

МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ — магнитные *полупроводниковые материалы*, в которых про-

исходят различные магнитооптические эффекты. К магнитооптическим относятся: эффект Зеемана, заключающийся в расщеплении спектральных линий под действием внешнего магн. поля; эффект Фарадея, состоящий во вращении плоскости поляризации света, вызванном внешним магн. полем; эффект Коттона — Муттона (или эффект Фохта) — эффект двойного лучепреломления, если свет распространяется перпендикулярно направлению внешнего магнитного поля.

Подобные эффекты наиболее ярко проявляются в *халькогенидах* редкоземельных элементов (в частности, в халькогениде европия), физ. свойства к-рых во многом определяются наличием достраивающейся внутренней 4f-электронной подоболочки. Халькогенид европия имеет макс. магнитный момент и является магнитно упорядоченным. В сульфиде европия величина удельного фарадеевского вращения плоскости поляризации света достигает макс. значения — $6 \cdot 10^5$ град/см. Аномально большая магнитооптическая активность в халькогенидах европия связана с дисперсией показателя преломления на краю полосы поглощения, обусловленной образованием магн. экситона. В селениде европия, легированном гадолинием, наблюдается большой магниторезистивный эффект, когда *электрическое сопротивление* быстро уменьшается с ростом спинового упорядочения, вызванным внешним магн. полем (в 10^4 раз при увеличении поля от 0 до 14 кэ или на восемь порядков при понижении т-ры ниже *Кюри точки*). Подобный эффект обусловлен изменением подвижности носителей тока при изменении магн. порядка. В ферромагнитных халькогенидах европия наблюдается явление магн. красного смещения края поглощения. Оно заключается в уменьшении ширины запрещенной зоны при магн. упорядочении с понижением т-ры или при наложении на образец в этой области т-р магн. поля. В пленочных магн. полупроводниках (напр., в пленках монокиси европия) магнитооптические эффекты используют для записи

информации. На принципе фарадеевского вращения плоскости поляризации света создают различные магнитооптические приборы: модуляторы, термомагнитооптические записывающие устройства, световые затворы, фазовращатели и др. Для этого используют, кроме халькогенидов европия, иттриевый и гадолиниевый ферриты — гранаты, хлористый и бромистый хром и др. В М. м. при помощи света можно изменить концентрацию носителей тока, что приводит к изменению т-ры упорядочения спинов электронов. Т. о., появляется возможность использовать внутреннюю связь магн. и электр. или оптических цепей через электронный спин без индуктивной связи. В запоминающих устройствах М. м. перспективны благодаря большим плотностям записи, быстрой поиску информации и быстродействию.

Лит.: Вонсовский С. В. Магнетизм. М., 1971. К. Д. Товстюк.

МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ [от лат. strictio (strictio-nis) — сжатие, сужение] — магнито-мягкие материалы, обладающие повышенной способностью деформироваться при намагничивании. К М. м. относятся магнитно-мягкие материалы с большой величиной магнито-стрикции насыщения (относительного изменения линейных размеров при намагничивании до насыщения) — $\lambda_s > 2 \cdot 10^{-5}$ и высоким коэфф.

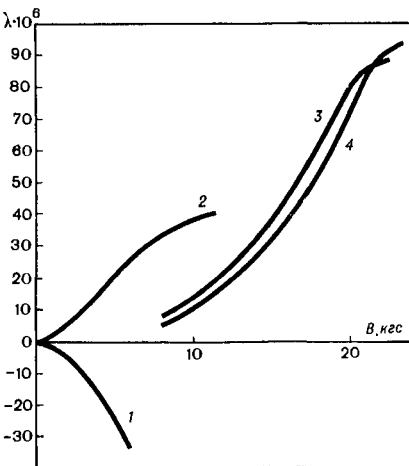
магнитомеханической связи (отношением полученной мех. энергии к затраченной магн. энергии) — $k > 0,1$. Изменение магнито-стрикции зависит от магн. индукции (рис.). Эксплуатационные св-ва М. м., используемых в качестве излучателей мех. колебаний, характеризуют также магнито-стрикционной постоянной $a = d\sigma/dB$ (при неизменной деформации), где σ — мех. напряжение; B — магн. индукция. Коэфф. магнитомех. связи зависит от магнито-стрикционной постоянной, магн. и мех. свойств М. м. Указанная зависимость выражается равенством $k^2 = 4\mu a^2 \mu_{обр}/E$ (для продольных колебаний), где $\mu_{обр}$ — обратимая магнитная проницаемость при напряженности подмагничивающего магн. поля H_0 ; E — модуль Юнга. При некотором значении H_0 величина k максимальна. В технике одним из первых в качестве М. м. начали применять чистый никель, обладающий высокими антикоррозионными св-вами, пластичностью и температурной стабильностью упругих св-в, но вместе с тем низкими удельным электрическим сопротивлением (что приводит к повышенным потерям на вихревые токи) и т-рой Кюри. Как М. м. применяют железоникелевые (пермаллой), железокобальтовые (напр., пермендюр) и железоалюминиевые (альфер) сплавы, легированные хромом, ванадием и др. металлами, а также некоторые магнитно-мягкие ферритмагнитные материалы (табл.). При выборе М. м.

Химический состав и свойства магнито-стрикционных материалов

Материал	Содержание компонентов, %	$\lambda_s \cdot 10^6$	$k_{\text{макс}}$	$a \cdot 10^{-4}, \frac{\text{дин}}{\text{см}^2} \times \frac{1}{\text{гс}}$	$\rho, \text{г/см}^3$	$B_s, \text{кэс}$
Никель марки НП-2-Т	99,8 Ni, остаточное примеси	$(-30) \div (-34)$	0,3	1,9	$7 \cdot 10^{-8}$	6,1
Пермендюр марки 50КФ (ЭП-207)	48 Fe, 50 Co, 2V	60—80	0,48	2,1	$34 \cdot 10^{-8}$	23,5
Пермендюр марки 65К	35 Fe, 65 Co	70—90	0,27	1,36	$8 \cdot 10^{-8}$	22,4
Альфер марки 14Ю	86,2 Fe, 13,8 Al	30—40	0,25	1,14	$100 \cdot 10^{-8}$	12,0
Никоси	94 Ni, 4 Co, 2 Si	$(-25) \div (-27)$	0,49	1,8	$18 \cdot 10^{-8}$	5,9
Феррит никелькобальтовый	68Fe ₂ O ₃ , 31,4 NiO, 0,6 CoO	—26	0,25	1,2	10^3	3,3

утичивают их коррозионную стойкость; пластичность, позволяющую изготавливать тонколистовые материалы; рабочий интервал t -р, определяемый температурными зависимостями св-в и Кюри точкой; простоту технологии; стоимость. Железokoбальтовые сплавы характеризуются сочетанием наивысших значений магнитострикции, намагниченности насыщения B_s и t -ры Кюри, поэтому их используют для изготовления преобразователей большой мощности и излучателей большой интенсивности. Пермендюры марок 50КФ и 65К отличаются, кроме того, хорошей пластичностью. Железоалюминиевые сплавы обладают большими магнитострикцией, удельным электросопротивлением и мех. прочностью, но отличаются низкой пластичностью и повышенной склонностью к коррозии. Для уменьшения потерь на вихревые токи сердечники магнитострикционных преобразователей собирают из электрически изолированных друг от друга листов М. м. Электроизолирующий слой, напр., на никелевых листах получают окисдированием при нагреве на воздухе в течение 15—25 мин при t -ре 800° С. Очень высокой коррозионной стойкостью обладают ферритовые М. м.; к тому же, они самые дешевые. Из-за высокого

Зависимость магнитострикции никеля (1), альфера марки 14Ю (2), пермендюра марки 50КФ (3) и пермендюра марки 65К (4) от магнитной индукции.



удельного электр. сопротивления и, следовательно, малых потерь на вихревые токи ферритовые М. м. применяют при преобразовании радиочастот, в частности в магнитострикционных фильтрах. М. м. находят применение в качестве излучателей и приемников ультразвуковых мех. колебаний. См. также *Магнитные материалы*.

Лит.: Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Х е н К. Магнитные материалы и их техническое применение. Пер. с нем. М., 1973. А. Г. Лесник.

МАГНИТОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ — анализ свойств магнитных материалов, основанный на использовании зависимости их магн. характеристик от структуры. К важнейшим магн. характеристикам относятся магнитная восприимчивость, магнитная проницаемость, намагниченность насыщения, коэрцитивная сила. У диамагнитных материалов магн. восприимчивость χ отрицательна, у парамагнитных материалов положительна, вследствие чего диамагнетик выталкивается из неоднородного магн. поля, а парамагнетик втягивается в него. По силе выталкивания или втягивания судят о знаке или абс. величине магн. восприимчивости. А поскольку при фазовом превращении в твердом состоянии и при плавлении она изменяется скачкообразно, этим обстоятельством пользуются для определения фазового состояния материала. У ферромагнитных материалов магн. восприимчивость — неоднозначная функция магн. поля. Связь между намагниченностью ферромагнетика и напряженностью намагничивающего магн. поля изображается кривой намагничивания и петлей гистерезиса. В процессе намагничивания магн. проницаемость ферромагнетика $\mu = 1 + 4\pi\chi$ возрастает от начального значения μ_a в слабых магн. полях до макс. значения $\mu_{\text{макс}}$, затем убывает и в сильных магн. полях приближается к единице; при этом намагниченность I стремится к намагниченности насыщения I_s . Если напряженность магн. поля уменьшается до нуля, намагниченность не обращается в нуль, а уменьшается до значения

I_r (остаточной намагниченности). При перемене знака напряженности магн. поля намагниченность продолжает уменьшаться и при напряженности поля H , равной коэрцитивной силе H_c , обращается в нуль. Дальнейшее изменение поля приводит к образованию петли гистерезиса. В *твердых растворах*, не испытывающих фазовых превращений, намагниченность насыщения зависит только от хим. состава. Если же в них происходят фазовые превращения, намагниченность насыщения может заметно изменяться, что и используется в исследованиях (напр., распада *аустенита* в сталях). В отличие от намагниченности насыщения другие характеристики зависят не только от хим. состава и фазового состояния, но и от структуры материала. Так, коэрцитивная сила зависит от плотности *дислокаций*

$$H_c = \frac{\lambda_s E a}{s} I_s,$$

где λ_s — магнитострикция насыщения; E — модуль сдвига; a — параметр решетки; s — расстояние между дислокациями. Если в ферромагнетике есть неферромагнитные включения, они влияют на коэрцитивную силу

$$H_c = p' \frac{K}{I_s} \beta^n,$$

где p' — параметр, зависящий от отношения ширины доменной границы (см. *Доменная структура*) к диаметру сферического включения; K — энергия магнитной анизотропии; β — объемная концентрация включений. Показатель n может принимать значения от $1/3$ до $2/3$. Начальная магн. восприимчивость также зависит от плотности дислокаций, если она связана с обратимым смещением доменных границ

$$\chi_a = \frac{1}{6} \cdot \frac{I_s(0) a^{1/3}}{k T_c} \cdot \frac{s^2 I_s}{d K^{1/2}},$$

где $I_s(0)$ — намагниченность насыщения при $T = 0$ К; a — параметр решетки; s — расстояние между дис-

локациями; k — постоянная Больцмана; T_c — T -ра Кюри (см. *Кюри точка*); d — ширина домена; K — энергия магн. анизотропии. Если же магн. восприимчивость определяется вращением намагниченности, то для одноосного ферромагнетика $\chi_{вр} = \frac{I_s^2}{2K}$.

В ферромагнетиках с малыми магнитокристаллической анизотропией и магнитострикцией энергия K связана в основном с магн. анизотропией, введенной *отжигом* в магн. поле, или с пластической деформацией. В этом случае энергия K представляет собой структурно чувствительную величину и использование магн. восприимчивости для М. а. *магнитно-мягких материалов* особенно эффективно. Для более полного определения структурных характеристик материалов М. а. сочетают с др. методами исследования. При исследовании, напр., ферромагнитных материалов применяют методы, основанные на явлении индукции, гальваномагнитные методы, используют спец. приборы — магнитометры.

Лит.: Вонсовский С. В., Шур Я. С. Ферромагнетизм. М.—Л., 1948; Боровик Е. С., Мильнер А. С., Еременко В. В. Лекции по магнетизму. Х., 1972; Фридель Ж. Дислокации. Пер. с англ. М., 1967. А. Г. Лесник.

МАГНИЯ СПЛАВЫ — сплавы на основе *магния*. В пром. масштабе впервые получены (1909) в Германии под названием «электрон». М. с. — самые легкие конструкционные металлические материалы, отличающиеся высокой удельной прочностью способностью к поглощению энергии удара и вибрационных колебаний, а также отличной обрабатываемостью резанием. От коррозии (см. *Коррозия металлов*) сплавы защищают *окислированием* и нанесением лакокрасочных покрытий. По условиям применения М. с. подразделяют на литейные и деформируемые (табл. 1, 2), по хим. составу — на сплавы, легированные марганцем; сплавы, легированные алюминием, цинком и марганцем; сплавы, легированные цирконием и цинком; сплавы, легированные редкими и редкоземельными металлами; сплавы, легированные литием; по св-вам — на высокопрочные (напр., марок Мл5, Мл50.н.,

Таблица 1. Химический состав магния сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %				
	Mg	Al	Mn	Zn	Zr

Л и т е й н ы е с п л а в ы

Мл2	Основа	—	1,0—2,0	—	—
Мл3	»	2,5—3,5	0,15—0,5	0,5—1,6	—
Мл4	»	5,0—7,0	0,15—0,5	2,0—3,0	—
Мл4п.ч.	»	5,0—7,0	0,15—0,5	2,0—3,0	—
Мл5	»	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—
Мл5п.ч.	»	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—
Мл50.н.	»	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—
Мл6	»	9,0—10,2	0,1—0,5	0,6—1,2	—
Мл8 (МЛ12-1)	»	—	—	5,5—6,6	0,7—1,1
Мл9 (ВМл2)	»	—	—	—	0,4—1,0
Мл10	»	—	—	0,1—0,7	0,4—1,0
Мл11	»	—	—	0,2—0,7	0,4—1,0
Мл12	»	—	—	4,0—5,0	0,6—1,1
Мл15	»	—	—	4,0—5,0	0,7—1,1

Д е ф о р м и р у е м ы е с п л а в ы

МА1	Основа	—	1,3—2,5	—	—
МА2	—	3,0—4,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—
МА2-1	—	3,8—5,0	0,3—0,7	0,8—1,5	—
МА2-1п.ч.	—	3,8—5,0	0,2—0,6	0,8—1,5	—
МА5	—	7,8—9,2	0,15—0,5	0,2—0,8	—
МА8	—	—	1,3—2,2	—	—
МА14(ВМ65-1)	—	—	—	5,0—6,0	0,3—0,9
МА17(МД3-1)	—	—	0,2—0,7	—	—

Марка сплава	Содержание элементов, %					
	Cd	In	Редкоземельные металлы (сумма)	La или Cl	Nd	Примеси, не более

Л и т е й н ы е с п л а в ы

Мл2	—	—	—	—	—	0,5
Мл3	—	—	—	—	—	0,5
Мл4	—	—	—	—	—	0,5
Мл4п.ч.	—	—	—	—	—	0,14
Мл5	—	—	—	—	—	0,5
Мл5п.ч.	—	—	—	—	—	0,14
Мл50.н.	—	—	—	—	—	0,7
Мл6	—	—	—	—	—	0,5
Мл8 (Мл12-1)	0,2—0,8	—	—	—	—	0,2
Мл9 (ВМл2)	—	0,2—0,8	—	—	1,9—2,6	0,35
Мл10	—	—	—	—	2,2—2,8	0,2
Мл11	—	—	2,5—4,0	—	—	0,25

Марка сплава	Содержание элементов, %					Примеси, не более
	Cd	In	Редкоземельные металлы (сумма)	La или Ce	Nd	
Л и т е й н ы е с п л а в ы						
Мл12	—	—	—	—	—	0,2
Мл15	—	—	—	(0,6—1,2) La	—	0,2
Д е ф о р м и р у е м ы е с п л а в ы						
МА1	—	—	—	—	—	0,8
МА2	—	—	—	—	—	0,5
МА2-1	—	—	—	—	—	0,5
МА2-1п.ч.	—	—	—	—	—	0,14
МА5	—	—	—	—	—	0,5
МА8	—	—	—	(0,15— 0,35) Ce	—	0,9
МА14(ВМ65-1)	—	—	—	—	—	0,6
МА17(МД3-1)	—	—	—	(0,7—1,5) Ce	—	0,65

Таблица 2. Свойства магния сплавов

Марка сплава	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	E , кгс/мм ²	σ_{-1} (на базе $2 \cdot 10^7$ циклов при T -ре 150—300° C), кгс/мм ²	α_H , кгс·м/см ²	HB
Литейные сплавы							
Мл2	0	3	3	—	5,5	0,5	30—35
Мл3	16	5,5	6	4 300	5,5	0,5	45
Мл4	16	9	3	—	8,0	0,2	50—60
Мл4п.ч.	23	—	2	4 100	8,0	0,2	50—60
Мл5	15	9	2	4 200	4,0	0,5	50—60
Мл5п.ч.	23	8,5	5	4 200	4,0	0,5	50—60
Мл5о.н.	23	—	2	4 200	4,0	0,5	50—60
Мл6	22	14	1	4 500	9,5	0,15	50—65
Мл8(Мл12-1)	27	17	4	4 200	—	0,3	—
Мл9(ВМл2)	23	11	4	4 300	5,0	0,7	—
Мл10	23	14	3	4 200	7,0	0,5	55—60
Мл11	14	10	2	4 200	6,5	—	55—60
Мл12	23	13	5	4 400	6,0	0,5	55—60
Мл15	21	13	3	4 300	5,3	0,2	—

Продолжение табл. 2.

Марка сплава	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	E , кгс/мм ²	σ_{-1} (на базе $2 \cdot 10^7$ циклов при t -ре 150—300° С), кгс/мм	σ_H , кгс·м/см ²	НВ
Деформируемые сплавы							
МА1	18—23	До 12	2—8	4 100	7,5	0,5	40
МА2	23—26	17—18	5—6	4 300	10—11	1,2	45
МА2-1 и МА2-1п.ч.	25—27	14—19	6—10	4 150	10—11	0,7—0,8	48—50
МА5	27—34	24	6—8	4 300	13,0	—	55
МА8	20—23	11—12	4—12	4 100	7—8	0,8—1,0	55
МА14(ВМ65-1)	28—32	24—25	6—8	4 300	12,0	0,6—0,9	55—60
МА17(МДЗ-1)	19—21	11—14	12—14	—	—	—	40—52

Марка сплава	$\tau_{ср}$ (t -ра 20° С), кгс/мм ²	$\alpha \cdot 10^8$ (t -ра 20—100° С), град·с	λ (t -ра 20—200° С), кал/см·сек·град	$\frac{\rho}{\mu}$, $\frac{ом \cdot мм^2}{м}$	D , г/см ³	Жидкотекучесть, мм	Линейная усадка, %
--------------	---	--	---	--	-------------------------	--------------------	--------------------

Литейные сплавы

Мл2	7,0	26,6	0,320	0,069	1,77—1,8	300	1,6—1,9
Мл3	11,0	26,0	0,250	0,090	1,78	215	1,6
Мл4	13,0	23,8	0,190	0,122	1,84	235	1,3—1,4
Мл4п.ч.	14,5	23,8	0,190	0,122	1,84	235	1,3—1,4
Мл5	13,5	22—28	0,185	0,134	1,8	290	1—1,3
Мл5п.ч.	13,5	22—28	0,185	0,134	1,8	290	1—1,3
Мл5о.н.	13,5	22—28	0,185	0,134	1,8	290	1—1,3
Мл6	16,0	26,1	0,180	0,160	1,81	330	1,1—1,2
Мл8 (Мл12-1)	—	27,2	0,290	—	1,82	—	1,3—1,4
Мл9 (ВМл2)	17,0	27,1	0,280	0,072	1,76	250	1,2—1,5
Мл10	18,0	28,0	0,270	0,084	1,78	250	1,2—1,5
Мл11	13,0	26,8	0,280	0,074	1,8	250—290	1,2—1,5
Мл12	16,5	27,3	0,320	0,066	1,81	230—280	1,3—1,4
Мл15	15,0	26,9	0,330	0,068	1,83	250	1,2—1,5

Деформируемые сплавы

МА1	12,0	26,0	0,300	0,0612	1,76	680	1,8
МА2	16,0	26,0	0,240	0,09	1,78	600	1,6
МА2-1 и МА2-1 п.ч.	16,0	26,0	0,240	0,12	1,78	640	1,25
МА5	18,0	26,0	0,160	0,162	1,8	750	1,25
МА8	14,5	23,7	0,320	0,051	1,78	680	1,8
МА14(ВМ65-1)	19,0	20,9	0,290	0,0565	1,80	575	1,4
МА17(МДЗ-1)	—	—	—	0,053	1,75—1,76	—	—

Примечание: Жидкотекучесть литейных сплавов определялась по длине прутка, деформируемых сплавов — по длине спирали.

Мл8, Мл12, Мл15, МА5 и МА14), жаропрочные (напр., марок Мл9, Мл10 и Мл11) и коррозионностойкие (напр., марок Мл2, Мл4, Мл4п.ч., Мл5п.ч., МА1, МА8). Марганец повышает *коррозионную стойкость* сплава, увеличивает его прочность. Алюминий увеличивает прочность и модифицирует структуру магния в литом состоянии, особенно при перегреве сплава или введении углерода. Цинк измельчает зерно и повышает прочность. Цирконий наиболее интенсивно измельчает зерно и увеличивает *пластичность* сплава, рафинирует его. Редкоземельные и редкие металлы увеличивают сопротивление ползучести сплава при повышенной т-ре (до 250°С), уменьшают микропористость, компенсируют повышенную *хрупкость*, вызванную наличием цинка. Литий (более 10%) значительно повышает пластичность. В некоторые М. с. вводят также серебро, бериллий, кальций, кадмий, олово и торий. Серебро дает возможность создавать сплавы, упрочняемые при термической обработке. Бериллий уменьшает окисляемость сплава, но огрубляет зерно в сплавах на основе систем магний — алюминий и магний — цирконий. Кальций измельчает зерно, но увеличивает склонность к горячеломкости и ухудшает *свариваемость*, уменьшает окисляемость сплава при плавке и литье. Добавка кальция к деформируемым сплавам на основе системы магний — алюминий — цинк увеличивает пластичность. Кадмий несколько увеличивает прочность. Олово, повышая прочность, уменьшает пластичность. Торий увеличивает сопротивление ползучести сплава при испытаниях до т-ры 350°С, повышает пластичность, подавляет образование микропористости в сплавах, содержащих цинк. Примеси железа, меди, кремния и никеля понижают коррозионную стойкость, ухудшают мех. св-ва сплава. Магний образует с легирующими элементами интерметаллические соединения — магниты, существенно влияющие на св-ва сплава. Способность магния к образованию *твердых растворов* с др. металлами ограничена. М. с. получают сплавле-

нием *технически чистых* металлов и их *лигатур*, а также методами магнийтермии (восстановлением магнием окислов или некоторых солей в спец. реакторах). Литейные сплавы выплавляют в шахтных печах со стационарными или выемными стальными тиглями, в отражательных и тигельных индукционных печах промышленной частоты. Деформируемые сплавы выплавляют в отражательных и тигельных индукционных печах. В процессе плавки поверхность расплава защищают слоем *флюса*. Св-ва М. с. улучшают *модифицированием*. К металлургическим методам модифицирования относятся: введение в расплав малых количеств модификаторов (титана, бора, циркония и др.); перегрев расплава до т-ры 875—925°С; введение в расплав углеродсодержащих веществ (магнезита, мрамора, каменного угля, графита, парафинового воска и др.); введение в расплав хлора и его органических или неорганических соединений (хлорного железа, гексахлорбензола, четыреххлористого углерода и др.); введение в расплав поверхностно-активных веществ. К физ. методам модифицирования относятся: вибрация; ультразвуковая обработка; воздействие электромагн. поля. М. с. подвергают литью (последовательной *кристаллизацией*, в песчаные формы, в гипсовые формы, по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением), обработке давлением (прокатке, прессованию, ковке, штампованию), сварке (газовой и аргоно-дуговой, точечной) и мех. обработке резанием. Литье в песчаные формы ведут при т-ре 740—780°С, литье в кокиль при т-ре 680—760°С. Из деформируемых сплавов изготавливают прессованные прутки, профили, полосы и трубы, катаные листы и плиты, штамповки и поковки. Прочностные св-ва деформируемых сплавов повышают *термомеханической обработкой*. При работе с М. с. необходимо соблюдение особых требований пожарной безопасности. М. с. используют в авто- и тракторостроении (для изготовления деталей двигателей, рам, колес); на транспорте (цистерны, передвижные тележки); в текстильной (напр., бобины) и полиграфической (напр., клише) промышленности; в произ-ве электро- и радиопри-

боров, телефонов (корпуса, панели), оптической аппаратуры (корпуса кино- и фотоаппаратов, бинокли и пр.) и переносного инструмента (отбойные и клепальные молотки, буры, дрели, пилы). Все более широкое применение находят М. с. в электротех. пром-сти (аноды для источников тока), в авиа-, судо- и ракетостроении. М. с. применяют также для изготовления звукопроводов ультразвуковых линий задержки, в конструкциях с высокой стойкостью против вибраций. Хим. состав и св-ва М. с. регламентируют ГОСТы 2581 — 71, 2856—68 и 14957—69.

Лит.: Портной К. И., Лебедев А. А. Магнелиевые сплавы. Справочник. М., 1952; Альтман М. Б., Лебедев А. А., Чухров М. В. Плавка и литье легких сплавов. М., 1969; Самсонов Г. В., Перминов В. П. Магнелии. К., 1971; Чухров М. В., Модифицирование магниевых сплавов. М., 1972; Рейнор Г. В. Металловедение магния и его сплавов. Пер. с англ. М. 1964; Эмми Е. Ф. Основы технологии производства и обработки магниевых сплавов. Пер. с англ. М., 1972.

В. П. Перминов.

МАЙОЛИКА (итал. maiolica, от Majolica — старого назв. о. Мальорка) — изделия из цветной обожженной глины с крупнопористым черепком, покрытые *глазурью* или *эмалью*. Широко использовались еще в стра-

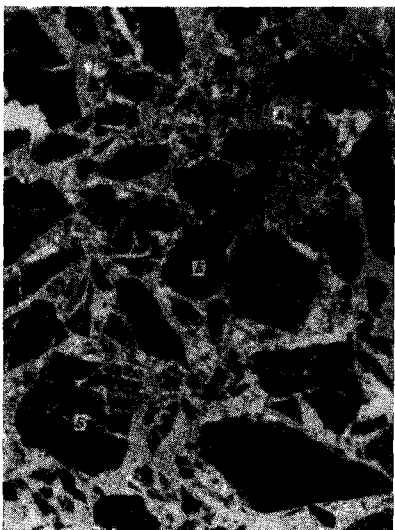
нах Древнего Востока. Современная М. подобна фаянсовым изделиям, имеет рельефный рисунок. Различают полумайолику (изделия с рисунком по белой обмазке — *ангобу*, покрытые прозрачной глазурью) и собственно М. (изделия с росписью по непрозрачной глазури). М. наз. также керамикой с цветными глазурями на фаянсовом белом или цветном черепке. М. изготавливают на основе фаянсовой массы (напр., из 30% глины Веселовской, 32,5% каолина Присяновского и 37,5% песка Глуховецкого), для покрытия используют свинцовые и бессвинцовые (борностронциевые) глазури, придающие изделиям блестящий, матовый, кристаллический или декоративный вид. Глазури и эмали наносят на М. поливом, погружением в них изделий, росписью кистью или распыливанием. Т-ра политого обжига 900—1000° С. М. применяют в строительстве. По декоративным и техническим качествам архитектурно-декоративную М. фарфоровые и фаянсовые изделия не заменяют. Свойства М. регламентируются ОСТом 17—85—71.

Лит.: Мусиенко П. Н. Керамика в архитектуре и строительстве. К., 1952; Филиппова С. В. Архитектурная майолика. М., 1956; Августиник А. И. Керамика. Л., 1975.

А. М. Черепанов.

МАКРОСТРУКТУРА БЕТОНА (от греч. μακρός — большой и лат. structura — строение) — структура бетона, видимая невооруженным глазом или при небольшом увеличении. М. б. (рис.) представляет собой конгломерат из связующего (цементирующего) вещества, зерен *заполнителя*, контактного слоя между ними и порового пространства. Зависит от химического, минералогического и *гранулометрического состава* исходных материалов (*вяжущего материала* и *заполнителя*), а также физ.-хим. процессов, происходящих при изготовлении и твердении бетона. Изучение М. б. позволяет определить: относительное количество, распределение, а иногда и минералогический состав вяжущего материала и заполнителей; величину и форму зерен крупного заполнителя, характер их поверх-

Макроструктура бетона: А — цементирующее вещество; Б — зерно заполнителя.



ности; форму, количество, особенности, размер и расположение макропор, трещин и пр. Структура и прочность бетона зависят от прочности и структуры его составляющих. Однако прочность *тяжелых бетонов* определяется в основном прочностью контактного слоя (*адгезии*) и самого вяжущего (*когезии*), а *легких бетонов*, кроме того, прочностью заполнителя. В бетоне зерна заполнителя образуют жесткий каркас (скелет) бетона, а вяжущий материал — цементирующую связку. В зависимости от количества вяжущего материала бетон может иметь структуру с контактным и плавающим расположением зерен заполнителя. Прочность бетонов на плотном заполнителе повышается при контактном расположении зерен, а прочность бетонов на пористом заполнителе — при плавающем их расположении. Одним из важных элементов М. б., определяющих физ.-мех. свойства бетона, является пористость. В М. б. могут быть выявлены: открытые трещины температурно-усадочного происхождения; пустоты и полости, образующиеся под зернами крупного заполнителя; раковины и каверны — как результат плохой укладки; воздушные поры, образующиеся в результате преднамеренного вовлечения воздуха в бетонную смесь при изготовлении в основном *ячеистого бетона*. Бетон будет достаточно прочным, если технология его изготовления обеспечивает получение относительно плотной М. б. без сообщающихся пор, секущих микротрещин и с прочным контактом между вяжущим материалом и заполнителем. См. также *Микроструктура бетона*.

Лит.: Нациевский Ю. Д., Хоменко В. П., Зайончковский Б. Ф. Эффективные строительные материалы. К., 1974. В. Г. Дымченко.

МАКРОСТРУКТУРА КЕРАМИКИ — структура керамики, видимая невооруженным глазом или при небольшом (до шести раз) увеличении. М. к. выявляют, подвергая хим. травлению гладкую керамическую поверхность, предварительно обработанную на шлифовальном круге (т. н. макрошлиф). Приблизительно о макроструктуре судят по излому.

Макроструктура высокого качества отличается мелкокристаллическим, однородным и плотным строением без пустот, раковин и расслоений. Зерна различных фракций распределены в ней равномерно, нет скоплений зерен одной фракции. Изучая макроструктуру, выявляют микроучастки с разной пористостью, окраской, хим. составом, отмечают дефекты керамики (напр., трещины, выплавки), зональность, возникающую при обжиге в неравномерном температурном поле или в результате воздействия различных газовых сред. Иногда в ней обнаруживают значительные изменения, обусловленные рекристаллизацией, распадом твердых растворов, восстановлением или полиморфными превращениями (см. *Полиморфизм*). При исследовании макроструктуры одновременно наблюдают большую поверхность, и это дает возможность выбрать наиболее характерные ее участки, чтобы подвергнуть их дальнейшему подробному микроструктурному исследованию (см. *Микроструктура керамики*). Изучение М. к. — один из методов анализа структуры керамики, применяющийся в керамическом произ-ве для технологического контроля.

Лит.: Стрелов К. К. Структура и свойства огнеупоров. М., 1972; Химическая технология керамики и огнеупоров. М., 1972; Кингери У. Д. Введение в керамику. Пер. с англ. М., 1967.

А. В. Шевченко.

МАКРОСТРУКТУРА МЕТАЛЛА — структура металла, видимая невооруженным глазом или при небольшом (до 30 раз) увеличении. Исследуя макроструктуру, определяют структурные несовершенства, возникшие в процессе произ-ва металла, напр. дефекты литейного происхождения, а также дефекты, обусловленные специфическими условиями кристаллизации. По макроструктуре судят об изменениях, происходящих вследствие обработки полуфабриката или изготовления изделия, а также о структурных изменениях в процессе эксплуатации изделий. Анализируя макроструктуру, выявляют также дефекты, возникшие в результате горячего пластического деформирования и термической обработки, знакопеременных нагрузок и воздействия агрессивных сред. М. м. исследуют в зависимости от характера и

распределения структурных элементов, изучая макроструктуру поверхности, изломов и шлифов. В процессе исследования макроструктуры поверхности выявляют поверхностные дефекты или *пористость* и пузыри, наслоения и запресовки (включения инородного материала, внесенного при технологической обработке), а также *трещины*, связанные с конфигурацией изделий и вызванные как термической или *химико-термической* обработкой (напр., глубокой *цементацией*), так и неравномерным течением металла при холодном пластическом деформировании. Макроструктура поверхности дает возможность оценивать коррозионное воздействие эксплуатационных сред, пористость при *травлении*, коррозионные трещины, коррозионное растрескивание под напряжением и др. Изучая макроструктуру, можно установить изменения поверхности при

Макроструктура слитка хрома.



эксплуатации, напр. местное образование *окалины* при высокотемпературном воздействии. Макроструктура поверхности полуфабриката часто свидетельствует о структурном состоянии металла в заготовке. Так, шероховатость при глубокой вытяжке служит одним из признаков крупнозернистости металла. Изучение макроструктуры *излома металла* используют для выяснения характера и источника разрушения, структурной и концентраторной неоднородности в макрообъемах, нарушений сплошности. Так, разрушение отрывом сопровождается кристаллическим изломом, в к-ром видны поверхности отдельных кристаллов и легко определима их величина, тогда как волокнистый излом наблюдается вследствие сильного пластического деформирования, предшествующего разрушению металла. Макроструктура излома дает возможность качественно определить т-ру перехода от вязкого разрушения к хрупкому. По макроструктуре излома при усталостных испытаниях выявляют очаги разрушения в зависимости от качества поверхности, наличия *пор*, несплошностей, *неметаллических включений* и т. п. (см. *Дефекты металлов*). Анализ макроструктуры излома распространен в практике термической и химико-термической обработки для оценки глубины насыщенного слоя, выявления отслоений, неравномерного распределения диффузионно насыщенного слоя на поверхности. Макроструктуру излома учитывают, оценивая восприимчивость стали к *закалке*, ее *прокаливаемость* в различных сечениях. По виду излома определяют качество *нагрева металла*, устанавливают глубину прогрева до гамма-состояния при *индукционном нагреве*, глубину отбеливания *серых чугунов*, наличие перегрева или передержки, к-рые приводят к визуально наблюдаемому укрупнению структурных составляющих металла. Сильный перегрев обуславливает, помимо укрупнения зерен, повреждение *границ зерен*, образование на них тонких окисных или сульфидных включений. Эти включения трудноустраняемы при последующей

термообработке и способствуют излому металла по границам первичных зерен даже после *перекристаллизации*. По макроструктуре изломов, особенно *легированных сталей*, выявляют волокнистость, возникшую в результате направленного деформирования участков с сильно выраженной *ликвацией* и большим количеством включений, что приводит к *анизотропии* мех. св-в в продольном и поперечном направлениях. При изучении макроструктуры шлифа используют методы нетравленного шлифа, а также его поверхностного и глубокого травления. Методом нетравленного шлифа оценивают наличие и распределение *шлаковых включений*, разного рода несплошностей (напр., подкорковых пузырей в слитке кипящей стали), выявляют включения по границам зерен (они могут проявиться при последующей обработке), определяют места и характер выделения газа при охлаждении, наличие трещин вдоль границ первичных зерен и в объеме. По макроструктуре нетравленного шлифа изучают *графитизацию* в высокоуглеродистых сталях и чугунах. Разновидность метода нетравленного шлифа — *Баумана метод*. При изучении макроструктуры методом поверхностного травления шлифа используют соль меди, оседающей на поверхности. Участки шлифа, не защищенные медью (дефектные), растравливаются, что облегчает выявление мелких нарушений сплошности, неметаллических включений и пор. В процессе изучения макроструктуры методом глубокого травления шлифа обычно применяют серную, азотную, соляную и др. к-ты или их смеси. После травления шлиф приобретает рельефную поверхность с отчетливо видимой кристаллич. структурой (рис. с. 757). Методом глубокого травления шлифа выявляют неоднородности хим. состава, напр. зональную (слиточную) ликвацию, ликвационное обогащение неметаллическими включениями, *дендритную структуру*, ликвацию у газового пузыря, отложение неметаллических включений по границам первичных зерен. Применяя глубокое травление, наблюдают образова-

ние крупнокристаллической структуры или сетки вторичного *цементита* по границам зерен, устанавливают наличие обезуглероженного слоя или мест образования «мягких пятен», воздушных пузырей, окалин и др. Исследование М. м. — один из основных методов первичной экспрессной оценки структуры и текущего контроля качества металла, применяемый в лабораториях металлургических и машиностроительных заводов.

Лит.: Панченко Е. В. [и др.]. Лаборатория металлографии. М., 1965; Галацкая И. К. Металлография металлургических дефектов в прессованных полупроизводствах из алюминиевых сплавов. Куйбышев, 1973. С. П. Ошадеров.

МАЛАХИТ (от греч. *μαλάχη* — мальва), $\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$ — минерал класса *карбонатов*. Хим. состав (%): CuO — 71,9; CO_2 — 19,9; H_2O — 8,2. Иногда содержит незначительные примеси кальция, железа, цинка и кремния. Структура островная, сингония моноклинная, вид симметрии призматический. Атомы меди в структуре — двух сортов, оба находятся в плоской четверной координации. Кристаллы очень редки, облик их призматический, игольчатый. Обычно образует натечные почковидные агрегаты с концентрически-зональным и лучистым строением, корки, налеты, плотные и землистые массы (медная зелень). Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (201), средняя по (001) и несовершенная по (010). *Плотность* 3,9—4,1 г/см³. *Твердость* 3,5—4. Хрупкий. Цвет зеленый различных оттенков (см. *Цвет минералов*). Черта бледно-зеленая. Блеск стеклянный до алмазного (см. *Блеск минералов*). Излом неровный, полураковистый (см. *Излом минералов*). В шлифах плеохроит от бесцветного по N_p до темно-зеленого по N_g . Двухосный, отрицательный; $2V = 43^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,909$; $n_m = 1,875$; $n_p = 1,655$, $n_g - n_p = 0,254$. Плоскость оптических осей параллельна (010), $r < v$ сильная. В соляной к-те растворяется с шипением. Экзогенный, образуется в зонах окисления медных сульфидных месторождений. В виде примазок и включений широко распространен также в медистых песчанниках перм-

ского возраста. М. получают из раствора окиси меди, насыщенного двууглекислым газом, а также действием раствора *сульфата* меди на карбонат меди при t -ре 150—170° С. Плотные натечные разности сравнительно больших размеров используют на различные поделки и мозаичные работы — изготовление ваз, шкатулок, столов и др.; малахитовую «мелочь» употребляют для изготовления красок. Вместе с др. минералами меди М. идет в плавку как руда.

Лит.: Ветехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Ферсман А. Е. Рассказы о самоцветах. М., 1974. В. Т. Латыш.

МАЛЛАДРИТ [по имени итал. исследователя А. Малладра (A. Malladra)], $\text{Na}_2[\text{SiF}_6]$ — минерал класса галлодов. Данных хим. анализов природного М. нет, определение его хим. состава основано на подобии св-в материала, перекристаллизованного из водного раствора, со св-вами искусственного соединения: Na — 24,5%, F — 60,6%, Si — 14,9%. Структура слоистая, сингония гексагональная (псевдогексагональная), вид симметрии дитригонально-скаленоэдрический. Встречается в виде корочек на лаве Везувия. Кристаллы призматические по [0001] с плоскостями пинакоида и пирамид, часты псевдогексагональные двойники. Плотность 2,75 г/см³. Показатели преломления: $n_g = 1,312$; $n_p = 1,309$, двупреломление низкое. М. одноосный с малым $2V$, оптически отрицательный. В базальных сечениях искусственных кристаллов могут наблюдаться шесть двухосных секторов с плоскостью оптических осей, параллельной граням призмы, и с $n_g = c$. Образуется в природе в fumarольных условиях. В пром-сти М. получают из газовых отходов суперфосфатных заводов (на 1 т суперфосфата образуется 7—8 кг малладрита). Находящийся в газах кремния тетрафторид гидролизует, превращаясь в туманообразную H_2SiF_6 , к-рая абсорбируется водой с образованием 8—10%-ного раствора кремнефтористоводородной к-ты. Этот раствор вливают затем в раствор NaCl; при этом образуется мелкокристаллический М. Может быть получен, кроме того, реакцией кремнефтористоводородной к-ты с др. натриевыми солями

или с гидроокисью натрия, а также реакцией раствора NaHF_2 с двуокисью кремния. М. применяют в качестве инсектицида. Значительное количество его перерабатывают на фторид натрия. Входит в состав сырьевых смесей для произ-ва кислотостойких цементов, эмалей и «глухого» стекла; служит источником получения «белой сажи» — высокодисперсного кремнезема, применяемого в качестве наполнителя в резиновом произ-ве; применяется как коагулянт литекса.

Лит.: Рысс И. Г. Химия фтора и его неорганических соединений. М., 1956; Евстропьев К. С., Торопов Н. А. Химия кремния и физическая химия силикатов. М., 1956; Карякин Л. И. Петрография огнеупоров. Х., 1962; Ларсен Е., Берман Г. Определение прозрачных минералов под микроскопом. Пер. с англ. М., 1965; Дэна Дж. (и др.) Система минералогии, т. 2, полутом 1. Пер. с англ. М., 1953. И. Г. Донец.

МАЛОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ — усталость материалов, обусловленная циклическим упруго-пластическим деформированием их макрообъемов. При высокой t -ре сопровождается развитием деформации *ползучести*. Развивается за ограниченное (до $2 \cdot 10^6$) число циклов нагружения и заканчивается образованием макротрещин или полным разрушением образца материала. Сопротивление малоцикловому разрушению характеризуется обычно кривой М. у., определяющей зависимость амплитуды деформации ϵ_a (или напряжений σ_a) от числа циклов до разрушения (или образования макротрещин) N_p (рис. с. 760). При высокой t -ре на М. у. существенно влияет частота нагружения и продолжительность выдержки в цикле при постоянной нагрузке (деформации). Осн. параметром, связанным с повреждением за цикл, является необратимая деформация (ширина петли гистерезиса) $\epsilon_{пл}$ в двух соседних полупериодах ($2n$) и ($2n+1$). Необратимая деформация определяет повреждение от усталости (см. *Усталость материалов*), а одностороннее накопление деформаций, происходящее в результате разности ширины петель в двух соседних полупериодах, — квазистатическое и

длительное статическое повреждение. Сопротивление малоциклового деформированию характеризуется диаграммой циклического деформирования в каждом полцикле, а при наличии выдержек в цикле — системой таких диаграмм по параметру времени выдержки (циклическими изохронными кривыми). Диаграммы циклического деформирования определяют необратимую деформацию в полцикле и одностороннее накопление деформаций за цикл. Материалы, обладающие значительной пластичностью и малым накоплением односторонней деформации, отличаются высоким сопротивлением М. у. К ним, как правило, относятся материалы со стабильной структурой, напр. стали, не упрочненные термически или механически. При инженерных расчетах элементов конструкций на усталость используют кривую усталости, выражающую в амплитудах полной деформации, $\epsilon_a = \epsilon_{пл}/2 + \epsilon_{аупр}$ или

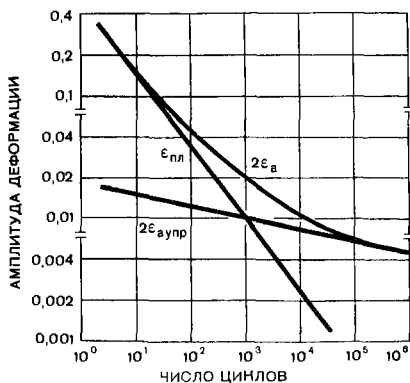
$$\epsilon_a = \frac{\epsilon_B(t)}{4N_p^m} + \frac{\sigma_{-1}}{E} \left(\frac{N_0}{N_p} \right)^\gamma.$$

Здесь $\epsilon_B(t) = \ln \frac{1}{1 - \psi(t)}$ — деформация при статическом или длительном статическом разрыве, зависящая от времени при высокой t -ре $\{\psi(t) — поперечное сужение образца при разрыве\}$; $m = 0,5 \div 0,6$ — постоянная, определяемая из опыта; σ_{-1} — предел усталости на базе N_0 ; $\gamma = 0,08 \div 0,12$ — показатель степени кривой усталости. Первый член ур-ния описывает закономерности М. у., второй — закономерности усталости при большом числе циклов. Т. о., ур-ние можно использовать во всем диапазоне чисел циклов. Испытания на М. у. обычно проводят при циклическом растяжении — сжатии с поддержанием постоянной амплитуды деформации (жесткое нагружение) для определения характеристик сопротивления разрушению и с поддержанием постоянной амплитуды напряжений (мягкое нагружение) для определения характеристик

сопротивления деформации. При приближенном построении кривой М. у., как это следует из ур-ния, достаточно знать деформацию при статическом разрыве, предел усталости и модуль упругости, приняв приближенно $m = 0,5$ и $\gamma = 0,1$. Лит.: Серенсен С. В., Коган В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. М., 1975; Мэнсон С. Температурные напряжения и малоцикловая усталость. Пер. с англ. М., 1974. Р. М. Шнейдерович.

МАНГАНАТЫ — соли марганатных кислот (марганатной-5, марганатной-6 и марганатной-7). Различают марганаты-5, марганаты-6 и марганаты-7 (перманганаты). Впервые марганаты-7 и марганаты-6 получил в 18 в. швед. химик К.-В. Шееле. В 1904 был получен первый марганат-5. Марганаты-5 щелочных и щелочно-земельных металлов $Na_3MnO_4 \cdot 7H_2O$ и K_3MnO_4 — темно-синего цвета, Li_3MnO_4 , $Ca_3(MnO_4)_2$ и $Sr_3(MnO_4)_2$ — сине-зеленого, $Ba_3(MnO_4)_2 \cdot H_2O$ — зеленого цвета. Они стойки в сухом воздухе (не содержащем углекислого газа) и в сильно щелочных растворах. Под действием воды и особенно к-т разлагаются, превращаясь в марганаты-6 и марганаты-7. Марганат Na_3MnO_4 получают сплавлением двуокиси марганца с содой и нитратом

Зависимость амплитуды деформации от числа циклов до разрушения (или образования макротрещин), определяющая малоцикловую усталость хромоникелевой стали: $2\epsilon_a$ — амплитуда полной деформации; $\epsilon_{пл}$ — амплитуда необратимой деформации за цикл (ширина петли гистерезиса); $2\epsilon_{аупр}$ — амплитуда упругой деформации.



натрия при т-ре 900° С или обработкой концентрированным раствором гидроокиси натрия охлажденного плава нитрата натрия с примесью перекиси натрия и двуокиси марганца. Манганат K_2MnO_4 получают сплавлением на воздухе двуокиси марганца с избытком карбоната калия выше т-ры 700° С. Манганаты-6 щелочных и щелочноземельных металлов, аммония, кадмия и свинца — зеленого цвета. Растворимые манганаты-6 (щелочных металлов и аммония) устойчивы на холоду в щелочной среде и разлагаются под действием к-т: $3MnO_4^{2-} + 4H^+ = Mn(OH)_4 + 2MnO_4^-$. При нагревании выше т-ры 500° С манганаты-6 разлагаются с отщеплением кислорода и образованием манганатов-5. Под действием озона или хлора манганаты-5 и манганаты-6 окисляются в манганаты-7. Манганат-6 калия получают сплавлением солей двухвалентного марганца или его двуокиси со смесью гидроокиси и нитрата или хлората калия. Аналогично получают манганаты др. щелочных металлов. Плохо растворимые М. лучше получать обменными реакциями между солью соответствующего металла и манганата K_2MnO_4 . Манганаты-7 хорошо растворимы в воде, за исключением солей рубидия, цезия, серебра и бария. Наиболее ценным среди манганатов-7 является манганат $KMnO_4$, отличающийся невысокой *растворимостью* (6,34 г на 100 г воды при т-ре 20° С). Его производят в большом количестве электрохим. окислением манганата-6 (катод — железный или никелевый, анод — ферромарганцевый) или окислением хлором манганата K_2MnO_4 . Манганаты-5, манганаты-6 и манганаты-7 — активные окислители, особенно в кислой среде, отчасти в нейтральной, а манганаты-7 — и в щелочной. Манганаты-7 наиболее устойчивы к воде и к-там. В кислых растворах они восстанавливаются многими восстановителями (даже хлоридами). В нейтральных растворах перманганаты окисляют йодиды в йодаты, а марганец при этом восстанавливается до $Mn(OH)_4$. В щелочных растворах манганаты-7 восстанавливаются сульфитами, йодидами и др. до манганатов-6. Манганаты-5 входят в состав малярной краски —

марганцевой синей. Манганат-6 бария используют в качестве краски касселевой зеленой. Манганат $Ca_3(MnO_4)_2 \cdot 5H_2O$ применяют для стерилизации питьевой воды. Манганаты-7, в частности манганат $KMnO_4$, применяют как активные окислители, дезинфицирующее средство в медицине и др.

Лит.: Роде Е. Я. Кислородные соединения марганца. М., 1952; Салли А. Х. Марганец. Пер. с англ. М., 1959.

А. М. Голуб.

МАНГАНИН (от нем. Mangan — марганец) — сплав меди с марганцем и никелем; *твердый раствор* марганца и никеля в меди. Используется с конца 19 в. В СССР выпускают М. марки МНМц3-12 (11,5—13,5% Мн; 2,5—3,5% Ni; остальное — медь). М. относится к *прецизионным сплавам*, отличающимся большим постоянством удельного *электрического сопротивления* во времени, малым значением температурного коэфф. этого сопротивления и пизкой термоэдр в паре с медью. Нестоек против коррозии (см. *Коррозия металлов*), чувствителен к изменению влажности. Добавка никеля снижает термоэдр М. в паре с медью (до 1 мкВ/град), что позволяет практически полностью избежать возникновения термоэдров. По электр. св-вам М. близок к *константану*. Удельное электр. сопротивление М. (т-ра 0° С) 0,42—0,48 ом · мм²/м, температурный коэфф. электр. сопротивления (в интервале т-р 20 ÷ 100° С) $3 \cdot 10^{-5}$ град⁻¹, т-ра плавления 1010° С, плотность 8,4 г/см³, коэфф. *термического расширения* (т-ра 100° С) $16 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, предел прочности на растяжение (после *отжига* при т-ре 700—750° С) 40—55 кгс/мм², предел текучести 20 кгс/мм², модуль норм. упругости 12 600—12 650 кгс/мм². Полуфабрикаты из М. изготовляют в виде лент, полос и проволоки. После холодной протяжки проволоку подвергают старению при т-ре 140—145° С в течение 10 ч, а затем выдерживают при комнатной т-ре в течение 8—12 месяцев. М. применяют для изготовления точных электроизмерительных приборов, прецизионных резистивных элементов.

Лит.: Усов В. В., Займовский А. С. Проводниковые, реостатные и контактные материалы, т. 2. М.—Л., 1957; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974. П. Б. Будберг.

МАРБЛИТ (от англ. marble — мрамор) — окрашенное, непрозрачное, утолщенное листовое стекло; вид *глушеного стекла*. Глушат стекло, превращая его в непрозрачное для видимого света, введением в стеклянную массу глушителей, напр. фтористых или фосфорнокислых соединений, соединений олова или сурьмы, а также окрашиванием (табл.) или фазовым расслоением (путем спец. термической обработки). Так, стекло марки СВ-43 после глушения фазовым расслоением превращается в М. со степенью белизны 90—95%. Различные цвета М. придают окислы кобальта, никеля, марганца, хрома и др. При глушении фазовым расслоением расход окиси натрия в 6—10 раз меньше, чем при обработке глушителями, отпадает необходимость в дорогостоящих и токсичных глушителях. Мех. св-ва М.: прочность на изгиб 400—500 кгс/см², на сжатие 7000—10 000, на ударный изгиб 1,8 кгс/см², температурный коэффициент линейного расширения (80—90) 10⁻⁷. М. изготавливают с одното-

ной окраской (напр., молочно-белые, черные) и мраморовидные — с неполным смешиванием цветного расплава с расплавом глушеной стеклянной массы. На основе шлакового малощелочного стекла в СССР освоено произ-во черного марблита. М. формируют непрерывным (преимущественно) или периодическим прокатом расплава стеклянной массы. Перспективно формование стекла на поверхности расплавленного металла («флоатпроцесс»). Лицевая сторона М. бывает полированной, огненнополированной, узорчатой или шероховатой (кованой), тыльная — с рифлением и др. неровностями.

М. применяют для облицовки стен внутренних помещений (напр., операционных, магазинов, помещений с повышенной влажностью), отделки мебели, изготовления строительных элементов (желобов, уголков и др.).

Лит.: Справочник по производству стекла, т. 1. М., 1963; Стекло, Справочник. М., 1973; Нациевский Ю. Д., Хоменко В. П., Зайончковский Б. Ф. Эффективные строительные материалы. К., 1974. И. В. Курченко.

МАРГАНЕЦ (Manganum; от нем. Mangan), Mn — хим. элемент VII группы *периодической системы элементов*; ат. н. 25, ат. м. 54,93810. Серебристо-белый металл. В соединениях проявляет степени окисления от +2 до +7, из них наиболее стойки соединения со степенями окисления +2, +4 и +7. Состоит из

Химический состав окрашенных марблитов, глушенных фтористыми соединениями

Марблит	Содержание окислов, фторидов и красителей, %									
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	ZnO	Na ₂ O	K ₂ O	F	Краситель
Молочно-белый	70,4	—	5,4	3,0	0,5	—	16,0	—	4,7	—
Черный	71,8	—	3,0	7,0	—	—	16,2	—	2,0	4,8 Mn ₂ O ₃
Красный	66,0	3,0	—	—	—	10,0	8,0	8,0	5,0	1,2 CdS; 0,8 Se
Желтый	64,9	—	4,0	7,1	—	—	16,5	—	7,5	1,0 CdS; 0,2 Se
Кремевый	69,7	—	2,9	3,7	—	1,1	15,4	—	7,1	0,4 S
Салатовый	65,0	—	4,0	7,1	—	—	16,4	—	7,5	0,4 CuO; 0,1 Cr ₂ O ₃
Синий	65,5	—	4,0	7,5	—	—	15,5	—	7,5	0,1 CoO
Голубой	65,0	—	4,0	7,0	—	—	16,5	—	7,5	1,0 CuO
Фиолетовый	65,0	—	4,0	7,0	—	—	16,5	—	7,5	2,0 NiO
Коричневый	65,0	—	4,0	7,0	—	—	16,5	—	7,5	1,0 Sb ₂ S ₃

стабильного изотопа ^{55}Mn . Из искусственных радиоактивных изотопов важнейшими являются изотопы ^{52}Mn , ^{53}Mn , ^{54}Mn и ^{56}Mn с периодами полураспада соответственно 5,7 суток, 140 лет, 290 суток и 2,6 ч. Швед. химик К.-В. Шееле впервые (1774) выделил его в виде сплава с железом. В том же году швед. ученый Ю. Ган получил корольек металла прокаливанием смеси *пиролюзита* с углем. Первое применение связывают с работами Хитса, к-рый в 1839 взял патент на применение М. при произ-ве стали. Содержание М. в земной коре $9 \cdot 10^{-2}\%$. В небольших количествах содержится почти всюду. Распространенность залежей марганцевых руд велика. В рудах М. содержится в основном в виде окислов в гидратированной и дегидратированной форме, в виде *карбонатов* и в меньшей мере — в виде *силикатов*. Важнейшие рудообразующие минералы: пиро-

люзит MnO_2 (63,2% Mn), псиломелан $m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (45—60% Mn), манганит $\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (62,4% Mn), браунит $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$ (62% Mn), гаусманит Mn_3O_4 (72% Mn) и родохрозит MnCO_3 (42% Mn). Значительное количество М. (около 25%) содержат конкреции — минеральные образования округлой формы, встречающиеся в осадочных породах на дне океана. Для М. установлены четыре полиморфные модификации: альфа-, бета-, гамма- и дельта-марганец (табл.). В обычных условиях устойчив альфа-марганец. Бета-марганец можно легко зафиксировать при комнатной т-ре *закалкой* с т-ры выше альфа \rightarrow бета-превращения, тогда как гамма-марганец не может быть полностью зафиксирован при охлаждении. Однако электролизом

Свойства полиморфных модификаций марганца

Модификация	Область ста- бильности, $^{\circ}\text{C}$	Кристаллическая решетка	Период решетки, \AA	Число ато- мов на ячей- ку	D , г/см 3
Альфа-марганец	Ниже тры 710	Сложная объемно- центрированная ку- бическая (A12)	8,9139 (т-ра 20 $^{\circ}$ C)	58	7,47 (т-ра 20 $^{\circ}$ C)
Бета-марганец	710—1079	Сложная кубическая (A13)	8,3130 (т-ра 20 $^{\circ}$ C)	20	7,26 (т-ра 20 $^{\circ}$ C)
Гамма-марганец	1079—1143	Гранецентрирован- ная кубическая (A1)	3,8550 (т-ра 1100 $^{\circ}$ C)	4	6,37 (т-ра 1100 $^{\circ}$ C), 7,21 (т-ра 20 $^{\circ}$ C)
Дельта-марганец	1143—1244	Объемноцентрирован- ная кубическая (A2)	3,0750 (т-ра 1143 $^{\circ}$ C)	2	6,28 (т-ра 1143 $^{\circ}$ C)

Модификация	α , (т-ра 0— —20 $^{\circ}$ C), град $^{-1}$	$\rho \cdot 10^6$, ом.см	α_c , град $^{-1}$	Атомная маг- нитная вос- приимчи- вость, э.м.е./г	c (т-ра 25 $^{\circ}$ C), кал/г \times \times град
Альфа-марганец	$22,3 \cdot 10^{-6}$	~ 140	$(2-3) \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-6}$ (т-ра 20 $^{\circ}$ C)	0,114
Бета-марганец	$24,9 \cdot 10^{-6}$	91	$13,6 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$ (т-ра 20 $^{\circ}$ C)	0,155
Гамма-марганец	$14,75 \cdot 10^{-6}$	35—40	$(55-65) \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$ (т-ра 1079—1143 $^{\circ}$ C)	0,120
Дельта-марганец	—	—	—	—	—

можно получить гамма-марганец, к-рый при комнатной т-ре медленно, а при нагреве быстрее превращается в альфа-марганец. Дельта-марганец не фиксируется при закалке. Физ. св-ва: $t_{пл} 1244^{\circ}\text{C}$; $t_{кип} 2095^{\circ}\text{C}$; теплота плавления 64 кал/г ; стандартная теплота сублимации 1240 кал/г ; коэфф. теплопроводности (т-ра 25°C) $0,159 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$. М. парамагнитен, при низких т-рах альфа-, гамма- и дельта-марганец переходят в антиферромагнитное состояние, т-ры Нееля равны соответственно 95; 580 и 625 K (данные для гамма- и дельта-марганца получены экстраполяцией значений для сплавов медь — марганец и хром — марганец). Бета-марганец остается парамагнетиком до очень низких т-р ($1,5 \text{ K}$). Модуль Юнга (т-ра 17°C) $1,95 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$; сжимаемость $1,06 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{кг}$; твердость альфа- и гамма-марганца соответственно прибр. 70 и 20 *HRC*. Марганцевый порошок при нагревании разлагает воду. М. растворяется в разбавленной соляной и азотной к-тах, а также в горячей концентрированной серной к-те. Энергично взаимодействует с галогенами, образуя соли MnF_2 . С кислородом образует окислы MnO , Mn_2O_3 , MnO_2 , MnO_3 и Mn_2O_7 . При нагревании М. непосредственно соединяется с типичными неметаллами, образуя сульфиды (MnS , MnS_2 и Mn_3S_4), селениды (MnSe , MnSe_2), нитриды (Mn_4N , Mn_7N_2 , Mn_5N_2 , Mn_2N), фосфиды (Mn_3P , Mn_2P , MnP , MnP_3), карбиды (Mn_{23}C_6 , Mn_{13}C_4 , Mn_3C , MnC_3), силициды ($\text{MnSi}_{1,7}$, MnSi , Mn_5Si_3 , Mn_3Si), бориды (Mn_4B , Mn_2B , MnB , Mn_3B_4 , MnB_4). С водородом не реагирует, но поглощает его с образованием твердых растворов внедрения. При взаимодействии М. с редкоземельными элементами, алюминием, германием, мышьяком, сурьмой, золотом, бериллием, оловом, висмутом, хромом и др. образуются интерметаллические соединения (см. *Металлиды*). Значительные области твердых растворов (более 5 ат.%) на основе гамма-марганца образуют хром, родий, рутений, иридий, цинк, платина, палладий, галлий, алюминий, герма-

ний, золото, рений и ванадий. Никель, кобальт, железо и медь образуют непрерывные ряды гамма-твердых растворов. Фосфор, кремний, молибден, серебро, мышьяк и селен отличаются минимальной растворимостью в гамма-марганце (1—2 ат. %), а вольфрам не смешивается с М. и в жидком состоянии. Растворимость в бета-марганце только железа, кремния, рутения, хрома и рения превышает 5%. М. разной степени чистоты в пром-сти получают электролизом водных растворов его сульфата MnSO_4 , восстановлением его окислов кремнием в электр. печах, алюминотермическим восстановлением их. Наиболее чистый металл получают электролитическим методом. Исходным продуктом при электролитическом получении элемента служат руды, переработка к-рых включает обжиг с целью перевода содержащегося в руде металла в его окись MnO , выщелачивание обожженной руды, очистку полученного раствора и электролиз. Получаемые на катодах осадки металла при надобности переплавляют в индукционной печи на слитки. Электролитическим методом получают М. чистотой до 99,70—99,98%, спектрально чистый по другим металлам. Основная примесь — сера (в MnO — менее 0,1%, в MnO_2 — менее 0,01%). М. с низким содержанием углерода и железа получают восстановлением в дуговой электр. печи марганцевой руды или концентрата силикомарганцем, содержащим миним. количества углерода и железа. Получаемый таким способом металл содержит около 97% Mn . Находит применение также алюминотермическое восстановление окислов марганца. Основные примеси в М., полученном этими методами, — железо, кремний и алюминий. Металл очень высокой степени чистоты может быть получен дистилляцией в вакууме при т-ре выше точки плавления. Стандартом предусмотрен выпуск металлургического М. с содержанием марганца не менее: MnO — 99,95%, MnO_2 — 99,70%, Mn_2O_3 — 95,00%, Mn_3O_4 — 93,00%, Mn_2O_7 — 91,00% и Mn — 88,00%. Альфа- и бета-марганец тверды и хрупки при комнатной т-ре, поэтому пластически не деформируются. Гамма-марганец, отличающийся более

простой структурной, полученный из растворов высокой чистоты электролизом, пластичен и, как правило, легко деформируется до превращения в альфа-марганец. На склонность к деформированию влияет даже небольшое количество примесей, поэтому алюминотермический М. не подвергают деформированию. Некоторые соединения М. ядовиты, поражают центральную нервную систему и многие органы. Характерны хронические отравления, проявляющиеся через два-три года систематической работы с металлом. Источниками отравления могут быть пыль и аэрозоли, содержащие его соединения. М. применяют гл. обр. при произ-ве спец. и углеродистых сталей (см. *Марганцовистая сталь*) как легирующий элемент, *раскислитель* и десульфуратор. Кроме того, М. используют при выплавке различных сплавов цветных металлов (*манганина, марганцовистой бронзы, марганцовистой латуни*), магниевых и алюминиевых сплавов), а также для создания антикоррозионных покрытий на стали, алюминии, меди и цинке. Широко применяют в пром-сти соединения М. Пирролизит находит применение в произ-ве стекла (как осветляющее средство), при произ-ве олиф и в гальванических элементах. Перманганат калия используют как окисляющее, отбеливающее и дезинфицирующее средство. Хлорид и сульфат М., а также некоторые др. соли находят применение в произ-ве красителей, при ситцепечатании, в качестве протравы для семян (стимуляторы роста), в произ-ве сиккативов. Некоторые соединения используют в произ-водстве красок. Дальнейшее исследование *марганца сплавов* и соединений открывает новые перспективы его применения, связанные с получением соединений М., отличающихся ферро-

магнитными (MnP, MnAs, MnSb, MnBi и соединения с алюминием и германием) и полупроводниковыми (высший силицид, теллуриды и селениды) св-вами.

Лит.: Электрохимия марганца, т. 1—6. Тбилиси, 1957—75; Некрасов Б. В. Основы общей химии, т. 1—2. М., 1973; Салли А. Марганец. Пер. с англ. М., 1959; Meaden G. T. The general physical properties of manganese metal. «Metals materials and metallurgical reviews», 1968, v. 2, № 8; Ремь Г. Курс неорганической химии, т. 2. Пер. с нем. М., 1974.

Г. М. Лукашенко, В. Р. Сидорко.

МАРГАНЦА СПЛАВЫ — сплавы на основе *марганца*. В пром. масштабах М. с. начали использоваться с начала 40-х гг. 20 в. в США. Со многими хим. элементами (медью, никелем, железом, кобальтом и др.) марганец образует гамма-твердые растворы, стойкие при комнатной т-ре. М. с. со структурой однофазного гамма-твердого раствора отличаются высоким удельным *электрическим сопротивлением*, низким температурным коэфф. электросопротивления, высоким температурным коэфф. линейного расширения, большой *демпфирующей способностью*, немагнитны, легко поддаются пластической обработке в горячем и холодном состоянии (таб.). Наиболее широкое применение нашел сплав марки 75ГНД с особо высоким температурным коэфф. линейного расширения. Еще более высокими значениями температурного коэфф. линейного расширения и удельного электросопротивления характеризуется сплав марки 73ГНПД. После термической обработки он приобретает стабильную однофазную структуру гамма-твердого раствора. Созданы гамма-фазные М. с. (напр., сплав марки 56ДГНХ), обладающие после упрочняющей об-

Химический состав и свойства марганца сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %				$D, \frac{г}{см^3}$	$\rho, \frac{ом \times}{мм^2 \times}$	$\alpha \cdot 10^6, \frac{град}{град}$	$E, \frac{кгс}{мм^2}$	$\sigma_B, \frac{кгс}{мм^2}$	$\delta, \%$
	Mn	Cu	Ni	Pd						
75ГНД	Основа	9,5	14—16	—	7,26	1,72	25—27	12 000	—	—
73ГНПД	»	—	10—13	15—16	7,3	2,0	35—40	11 000	72,5	22,5
НГ45Ф	»	—	—	—	7,7	1,75—2,0	18	—	70—100	4—18
56ДГНФ	»	—	—	—	—	—	17,5—18,5	15 000	69—105	10

работки относительно высоким температурным коэфф. линейного расширения, повышенной прочностью, высокой коррозионной стойкостью. Такие сплавы применяют как активные составляющие термометаллических материалов высокой чувствительности, для изготовления изделий, тепловое расширение к-рых соответствует расширению некоторых материалов. Полуфабрикаты из них выпускают в виде кованых прутков, холоднокатаных полос и лент. Сплав марки НГ45Ф со структурой (после закалки) гамма-твердого раствора характеризуется высоким удельным электросопротивлением и низким температурным коэфф. электросопротивления. Предназначен для изготовления малогабаритных прецизионных резисторов. Выпускают его преим. в виде проволоки диаметром 0,02—0,4 мм. Сплавы марганца с медью отличаются высокой демпфирующей способностью при удовлетворительной прочности. Их демпфирующая способность на один-два порядка выше, чем сталей, меди сплавов, алюминия сплавов и титана сплавов, и в несколько раз больше, чем чугуна. Все М. с. со структурой гамма-твердого раствора немагнитны, легко поддаются горячему и холодному деформированию. Сплавы марганца с алюминием, галлием и висмутом на основе промежуточных соединений ($MnAl$, Mn_2Ga , $MnBi$) ферромагнитны, обладают высокой коэрцитивной силой и относительно низкой остаточной магн. индукцией. Магн. жесткость сплавов марганца с алюминием и галлием обусловлена фазой с упорядоченной тетрагональноискаженной структурой. Структура сплавов марганца с висмутом гексагональная, они хрупки. Сплавы системы марганец — алюминий отличаются малыми плотностью и окисляемостью, хорошей износостойкостью и коррозионной стойкостью. По магн. св-вам, температурной стабильности, износостойкости и коррозионной стойкости они превосходят такой магнитно-твердый материал, как феррит бария. Сплавы марганца с галлием после закалки имеют структуру гамма-фазы и отличаются хорошей

пластичностью при холодном деформировании. Лучшие магн. св-ва достигаются после деформирования гамма-фазы с обжатием более 60% и последующего конечного отпуска при т-ре 450° С. М. с. выплавляют в высокочастотных индукционных печах (в алуновых или магнетитовых тиглях) в среде инертного газа (аргона, гелия) либо (при выплавке в открытом тигле) под защитой флюса (криолита). В процессе кристаллизации происходит значительная усадка металла, поэтому его разливают в изложницы с утепленными прибыльными надставками. При составлении шихты используют электролитический марганец марок Мр0 и Мр1, из к-рого предварительно (переплавкой) удаляют водород. Из сплавов марганца с алюминием и галлием изготовляют постоянные магниты. Сплавы марганца с висмутом также используют для изготовления магнитов, подвергая тонкий порошок горячему прессованию в сильном магн. поле (для ориентации частиц). Эти магниты обладают высокими магн. св-вами при комнатной т-ре, однако при т-ре ниже комнатной св-ва их резко ухудшаются.

Лит.: Фавстов Ю. К., Шульга Ю. Н. Сплавы с высокими демпфирующими свойствами. М., 1973; Прецизионные сплавы. Справочник. М., 1974; Салли А. Марганец. Пер. с англ. М., 1959.

М. И. Равдель.

МАРГАНЦЕВЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы марганца различной формы. Получают порошок преим. в лабораторных условиях электролизом водных растворов марганцевых солей, напр. $MnSO_4$. Ртутную амальгаму, образующуюся (с ртутным катодом) в процессе электролиза, фильтруют, а затем ртуть дистиллируют в вакууме. Электролизом водных растворов солей в двухслойной ванне (верхний слой — органическая жидкость, нижний — водный раствор марганцевой соли) с вращающимся катодом порошок получают в виде коллоидных частиц. Полученные обоими способами порошки — пирофорны.

Лит.: Альтман А. Б. Некоторые закономерности магнитных свойств марганец-висмутовых постоянных магнитов. В кн.: Физика металлов и металловедение, т. 6, в. 1. Свердловск, 1958.

В. В. Бушин.

МАРГАНЦОВИСТАЯ БРОНЗА — бронза, основным легирующим эле-

ментом которой является *марганец*. Отличается высокими мех. св-вами, *коррозионной стойкостью* и *жаропрочностью* (табл. 1, 2). Марганец при повышенной т-ре неограниченно растворяется в меди как в жидком, так и в твердом состоянии. Т-ра *рекристаллизации* меди при наличии марганца повышается на 150—200° С. М. б., содержащие до 20% Mn, при всех т-рах в твердом состоянии являются однофазными, поэтому легко поддаются обработке давлением в горячем и холодном состоянии, допуская деформацию при холодной прокатке до 80%. Наиболее широко применяют сплав марки БрМц5, св-ва к-рого мало изменяются под влиянием т-ры: напр., при т-ре 20° С предел прочности на растяжение 28 кгс/мм², относительное удлинение 40%, а при т-ре 400° С — соответственно 26 кгс/мм² и 25%. Сплав марки БрМцС8-20 отличается меньшей прочностью, но лучшими антифрикционными св-вами. Сплав марки БрАМц9-2 легко поддается обработке давлением в горячем и холодном состоянии, отличается высокой *хладостойкостью*. Для улучшения антифрикционных св-в в М. б. вводят свинец, хотя он и снижает прочность сплава. Выплавляют М. б. в индукционных печах, в печах типа АЯКС, ДМК и др.

Таблица 1. Химический состав марганцовистых бронз

Марка бронзы	Содержание элементов, %			
	Cu	Mn	Pb	Al
БрМц5	Основа	4,5—5,5	—	—
БрМцС8-20	»	7—8,5	18—22	—
БрАМц9-2	»	1,5—2,5	—	8—10

Таблица 2. Свойства марганцовистых бронз

Марка бронзы	ρ , г/см ³	$t_{пл}$, °С	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	E , кгс/мм ²	HB	$\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹
БрМц5	8,6	1047	$\frac{25}{30}$	$\frac{30}{40-50}$	10 500	$\frac{70}{80}$	20,4
БрМцС8-20	—	—	17	12	—	50	—
БрАМц9-2	7,6	1060	40—60	20—25	9200	100—160	17,0

Примечание: В числителе приведены свойства бронзы в неотожженном состоянии, в знаменателе — в отожженном.

Полуфабрикаты из М. б. выпускают в виде прутков, полос и лист. М. б. применяют в морском судостроении для отливки деталей арматуры, эксплуатируемой при т-ре до 250° С, и для отливки крупных деталей простой конфигурации, втулок, подшипников, деталей электрооборудования. Хим. состав регламентирует ГОСТ 18185—72.

Лит.: Сучков Д. И. Медь и ее сплавы. М., 1967; Мальцев М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М., 1970; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

В. В. Казарцев.

МАРГАНЦОВИСТАЯ ЛАТУНЬ — латунь, основным легирующим элементом которой является *марганец*. В СССР выплавляют М. л. двух марок (табл. 1 с. 768). Сплав отличается хорошими мех. св-вами при повышенной т-ре, легко поддается обработке давлением, обладает повышенной *теплопроводностью* (табл. 2). Добавки марганца и алюминия повышают прочность, а также *коррозионную стойкость* сплава к хлоридам и морской воде. М. л., как и двойные (простые) латуни, склонна к саморастрескиванию. Для его устранения применяют низкотемпературный *отжиг* (при т-ре 300—250° С). М. л. выплавляют в индукционных печах, в печах типа АЯКС и ДМК. При выплавке М. л. угар цинка составляет 2%, марганца до 30%. Полуфабрикаты из М. л. марки ЛМц58-2 изготовляют в виде листов, полос, прутков, проволоки, из М. л. марки ЛМцА57-3-1 — в виде поковок. М. л. применяют в морском судостроении, в электротехнике, в качестве заместо-

ля оловянистых бронз. Хим. состав М. л. регламентирует ГОСТ 15527—70.

Лит.: Буталов В. А. Замесители дефицитных металлов и сплавов. М.—Л., 1955; Сучков Д. И. Медь и ее сплавы. М., 1967; Мальцев М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М., 1970; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974.

В. В. Казарцев.

МАРГАНЦОВИСТАЯ СТАЛЬ — сталь, легированная марганцем. Используется с конца 19 в. Марганец растворяется в альфа-железе и в цементите, упрочняет феррит, несколько уменьшая его пластичность, и устраняет вредное влияние серы. Он почти неограниченно растворяется в гамма-железе и расширяет область существования аустенита ниже комнатной т-ры, наиболее эффективно снижает т-ру мартенситного превращения и резко увеличивает прокаливаемость стали. Чем больше в стали марганца, тем при меньшем содержании углерода образуются перлит, мартенсит и аустенит. Склонность стали к возникновению крупнозернистой структуры при небольшом перегреве устраняют добавками ванадия и титана (0,01—0,1%), а также выбором режима термической обработки (т-ры нагрева, продолжительности выдержки и скорости охлаждения). М. с. отличается отпускной хрупкостью, поэтому после отпуска ее быстро охлаждают.

Марганец способствует насыщению стали углеродом и азотом, положительно влияя на цементацию и азотирование. К М. с. относятся качественные низко- и среднеуглеродистые конструкционные стали. Выпускают их в виде сортового проката марок от 15 Г до 70Г, от 10Г2 до 50Г2, У8Г, У8ГА и Г13. Низкоуглеродистые стали марок 15Г и 20Г (0,15—0,2% С, 1% Мн, $\leq 0,3\%$ Si, $\leq 0,03\%$ Р, $\leq 0,03\%$ S) — цементуемые. После цементации они характеризуются достаточно износостойкой поверхностью и вязкой сердцевиной. Без цементации стали отличаются средней прочностью, высокой пластичностью, хорошей обрабатываемостью резанием и свариваемостью. Из таких сталей изготавливают малонагруженные детали. Среднеуглеродистые стали марок 30Г, 35Г и 40Г (0,3—0,45% С, 1% Мн, $\leq 0,3\%$ Si, $\leq 0,03\%$ Р, $\leq 0,03\%$ S) обладают повышенной прочностью. Иногда ими заменяют высоколегированные стали. Такие стали применяют в основном после улучшения (закалки и высокотемпературного отпуска). Сталь марки 30Г закалывают в воде, а сталь марки 40Г — в масле. Наиболее распространена сталь марки 30Г. Ее используют также в штампованном виде. Стали марок 50Г, 60Г, 65Г и 70Г (соответственно 0,5; 0,6; 0,65 и 0,7% С, 1% Мн, 0,3% Si, $\leq 0,03\%$ S) характеризуются высокими прочностными и упругими св-вами. Их применяют после закалки и отпуска в основном для изготовления пружин и рессор. Из улучшаемых сталей марок

Таблица 1. Химический состав марганцовистых латуней

Марки латуни	Содержание элементов, %			
	Cu	Mn	Al	Zn
ЛМц58-2	57—60	1,2	—	Остальное
ЛМцА57-3-1	55,5—58,5	0,5—3,5	0,5—1,5	»

Таблица 2. Свойства марганцовистых латуней

Марка латуни	ρ , г/см ³	$t_{пл}$, °C	σ_B , кгс/мм ²	δ , %	НВ	E, кгс/мм ²	$\alpha \cdot 10^{-6}$, град ⁻¹
ЛМц58-2	8,5	880	36—44	24—36	100	10000	21,2
ЛМцА57-3-1	—	—	52	30	120	—	—

30Г2, 35Г2, 45Г2, 50Г2 и 65Г (соответственно 0,3; 0,35; 0,45; 0,5 и 0,65% С, 2% Мп, 0,3% Si, $\leq 0,03\%$ Р, $\leq 0,03\%$ S) изготовляют оси крановых тележек, полуоси, шестерни, болты (как и из стали марки 30Г), коленчатые валы, цапфы (30Г2), карданные валы, червяки, шестеренные валки, крановые колеса, диски пил, правильные ролики, диски коксового грохота, диски пил горячей резки и др. изделия. Из стали марок У8Г и У8ГА изготовляют режущие и др. инструменты. Расход М. с. меньше, чем *никелевых сталей*. Аустенитная М. с. марки Г13 содержит 1—1,3% С и 11—14% Мп, до 0,3% Si, не более 0,03% Р и не более 0,03% S. Выплавают ее в электр. печах с основной футеровкой. Структура литой стали состоит из аустенита и карбидов. В этом состоянии она характеризуется низкой прочностью и пластичностью, которые повышаются нагревом до t -ры 1100—1150° С (для растворения карбидов и получения однородного аустенита) и закалкой в воде. После такой термообработки сталь отличается высокой *износостойкостью*, достигаемой *наклепом*, приобретаемым в результате деформирования и ударов в процессе эксплуатации. Упрочнению аустенита стали марки Г13 способствует сдвиговый процесс — дробление зерен на блоки (см. *Блоки мозаики*). Степень упрочнения при пластическом деформировании тем выше, чем больше препятствий создается для пластического деформирования, т. е. для перемещения *дислокаций*. Вследствие недостаточной структурной стойкости стали по плоскостям сдвига может появиться *альфа-фаза* (мартенсит), а по плоскостям скольжения может выпадать карбидная фаза $(Fe, Mn)_3C$. Из стали марки Г13 изготовляют звенья гусениц тракторов, броневые плиты рудных течек и приемков, шары дробильных мельниц, щеки камнедробилок и др. изделия. На М. с. действуют ГОСТы 4543—61 и 1435—54.

Лит.: Тылкин М. А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. М., 1971. Ф. Н. Тавадзе.

МАРТЕНОВСКАЯ СТАЛЬ [по имени франц. металлурга П. Мартена (P. Martin)] — сталь, выплаваемая в мартеновских печах. Широко ис-

пользуется с конца 19 в. М. с. получают переработкой жидкого (реже — твердого) чугуна и стального лома. В ней содержится серы и фосфора по 0,010—0,040%, азота 0,003—0,008%. По способу получения различают М. с. кислую и основную, по способу раскисления — *кипящую сталь*, *полуспокойную сталь* и *спокойную сталь*, по хим. составу — *углеродистую сталь*, *низколегированную* и *легированную сталь*. Преимуществом кислой М. с. по сравнению с основной является малая *анизотропия св-в* (*пластичности* и *вязкости*). Различие в величине коэфф. анизотропии определяется содержанием и формой *неметаллических включений*, представляющих собой в осп. мелкие круглые *силикаты*, не деформирующиеся при горячей пластической обработке и вызывающие незначительную *концентрацию напряжений* во время приложения нагрузки. Вследствие этого кислая М. с. применяется (в ограниченном количестве) для изготовления высоконагруженных изделий. М. с. выпускают в виде листов, заготовок дляковки и штампования. Из М. с. изготовляют шестерни, валы, пружины, рессоры, проволоку, швеллеры, балки, прокат.

Лит.: Явойский В. И. Теория процессов производства стали. М., 1967; Металлургия стали. М., 1973.

МАРТЕНОВСКИЙ ЧУГУН — чугун, переделываемый в *сталь* в мартеновских печах; вид *переделного чугуна*. Используется с 70-х гг. 19 в. Есть М. ч. переделный коксовый (табл. 1 с. 770), переделный коксовый фосфористый (табл. 2) и переделный коксовый высококачественный (табл. 3). По содержанию марганца, фосфора и серы чугуны подразделяют соответственно на группы (I, II, III, IV), классы (А, Б, В, Г) и категории (I, II, III, IV). В зависимости от технологии плавки стали выпускают М. ч. для основного и кислого мартеновского процессов. Наиболее нежелательный и вредный компонент чугуна — сера, способствующая возникновению различных дефектов. В основном мартеновском процессе обычно используют чугун, содержа-

Таблица 1. Химический состав мартеновских (передельных коксовых) чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %											
	Mn				P, не более			S, не более				
	Si	Группа чугуна				Класс чугуна			Категория чугуна			
		I	II	III	IV	A	Б	В	I	II	III	IV
Передельные коксовые чугуны												
M1	0,91—1,30	≤0,50	0,51—1,00	1,01—1,50	—	0,15	0,20	0,30	0,020	0,030	0,040	0,060
M2	0,51—0,90	≤0,50	0,51—1,00	1,01—1,50	—	0,15	0,20	0,30	0,020	0,030	0,040	0,060
M3	≤0,50	≤0,50	0,51—1,00	1,01—1,50	—	0,15	0,20	0,30	0,020	0,030	0,040	0,060
Передельные коксовые чугуны (со знаком качества)												
M1	0,91—1,30	≤0,50	0,51—1,00	1,01—1,50	1,51—2,00	0,10	0,15	—	0,015	0,025	0,035	0,050
M2	0,51—0,90	≤0,50	0,51—1,00	1,01—1,50	1,51—2,00	0,10	0,15	—	0,015	0,025	0,035	0,050
M3	≤0,50	≤0,50	0,51—1,00	1,01—1,50	1,51—2,00	0,10	0,15	—	0,015	0,025	0,035	0,050

Таблица 2. Химический состав мартеновских (передельных коксовых фосфористых) чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %											
	Mn, не более				P, не более			S, не более		As		
	Si	Группа чугуна			Класс чугуна			Категория чугуна		Степень легирования		
		I	II	III	A	Б	В	I	II	1	2	3
МФ1	0,91—1,30	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	0,05	0,07	0,1	0,15	0,2
МФ2	0,51—0,90	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	0,05	0,07	0,1	0,15	0,2
МФ3	≤0,50	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	0,05	0,07	0,1	0,15	0,2

Таблица 3. Химический состав мартеновских (передельных коксовых высококачественных) чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %											
	C	Si	Mn			P, не более				S, не более		
			Группа чугуна			Класс чугуна				Категория чугуна		
			I	II	III	A	Б	В	Г	I	II	III
Передельные коксовые высококачественные чугуны												
ПВК-1	—	0,91—1,30	≤0,50	0,51—1,0	1,01—1,5	0,02	0,03	0,04	0,05	0,015	0,02	0,025
ПВК-2	—	0,51—0,90	≤0,50	0,51—1,0	1,01—1,5	0,02	0,03	0,04	0,05	0,015	0,02	0,025
ПВК-3	—	≤0,50	≤0,50	0,51—1,0	1,01—1,5	0,02	0,03	0,04	0,05	0,015	0,02	0,025

Передельные коксовые высококачественные рафинированные чугуны

ПВКР-1	4,0—4,5	0,91—1,30	—	0,51—1,0	1,01—1,5	0,05	—	—	—	0,01	—	—
ПВКР-2	4,0—4,5	0,51—0,90	—	0,51—1,0	1,01—1,5	0,05	—	—	—	0,01	—	—
ПВКР-3	4,0—4,5	≤0,50	—	0,51—1,0	1,01—1,5	0,05	—	—	—	0,01	—	—

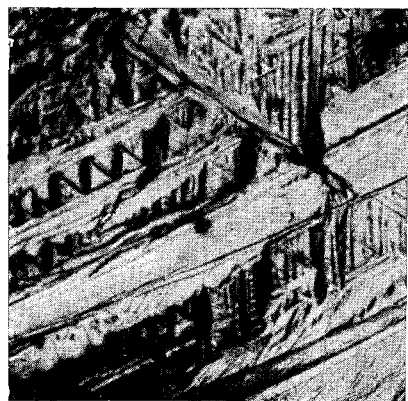
ций до 0,3% Р (для выплавки низко- и среднеуглеродистой стали) и до 0,2% Р (для выплавки высокоуглеродистой стали). В кислом мартеновском процессе применяют чугуны с ограниченным содержанием фосфора ($\leq 0,02-0,06\%$) и серы ($0,015-0,025\%$). При выплавке стали с пониженным содержанием вредных примесей используют чушковый перепелый коксовый чугун (со знаком качества) и перепелый высококачественный чугун, рафинированный магнием. М. ч. выплавляют в доменных печах, поставляют в мартеновские печи в жидком виде или в виде чушек массой до 55 кг с двумя или тремя пережимами. Марки и хим. состав перепелых коксовых, перепелых коксовых со знаком качества и перепелых высококачественных (рафинированных магнием) М. ч. определены соответственно ГОСТами 805—69, 5.1534—72 и ТУ 14—15—5—74.

Лит.: Трубин К. Г., Ойкс Г. Н. *Металлургия стали*. М., 1970.

Н. Г. Руденко.

МАРТЕНСИТ [по имени нем. металловеда А. Мартенса (A. Martens)] — 1) В кристаллических телах — структурная составляющая, представляющая собой низкотемпературную полиморфную модификацию. Возникает в результате сдвигового бездиффузионного фазового превращения (см. *Мартенситные превращения, Полиморфизм*), имеет вид отдельных кристаллов,

Микроструктура поверхностного рельефа альфа-мартенсита в марганцовистой стали, $\times 200$.



величина которых намного меньше размера исходного зерна. Для М. характерна строгая кристаллографическая взаимосвязь между кристаллическими решетками исходной и мартенситной фаз (т. н. ориентационные соотношения), обуславливающая параллельность плотноупакованных плоскостей обеих решеток. Вследствие кооперативного и закономерного перемещения атомов в процессе образования кристаллов происходит макроскопическое смещение металла — возникает поверхностный рельеф М. в виде выступов и впадин. Кристаллы М. имеют форму игл, пластин и линз. Внутреннее строение М. более сложное: иногда наблюдается большая плотность дислокаций ($\approx 10^{11} \text{ см}^{-2}$), двойники или набор более тонких пластин. 2) В стали — структурная составляющая, представляющая собой пересыщенный твердый раствор углерода в альфа-железе. Поскольку в аустените при т-ре закаливания растворяется до 2% С, а в объемноцентрированной кубической решетке железа при комнатной т-ре — менее 0,002% С, в результате бездиффузионной перестройки границей перестройки решетки в объемноцентрированную весь углерод переходит в мартенсит. Атомы углерода в такой решетке располагаются между атомами железа вдоль оси с в октаэдрических порах, образуя упорядоченную по углероду подрешетку. Однако в М. углеродистых сталей никогда не происходит заполнение всех пор по оси с (для этого концентрация углерода должна в четыре раза превышать предельную его растворимость в гамма-фазе). В результате внедрения атомов углерода объемноцентрированная решетка железа сильно искажается, возникает тетрагональная или ромбическая решетка, в которой параметры элементарной ячейки отличаются друг от друга ($a \neq b \neq c$). Степень тетрагональности (c/a) линейно возрастает с повышением концентрации углерода и при содержании 1,8% С достигает 1,08. Искажения кристаллической решетки М. способствуют высокой прочности и твердости закаленной стали (твердость высокоуглеро-

дистого М. около 1000 кгс/мм^2), ее чрезвычайно низкой *пластичности*. Если сталь нагревать, углерод будет выделяться из кристаллической решетки, образуя дисперсные частицы *карбидов* железа, вследствие чего степень тетрагональности уменьшается: снижаются искажения кристаллической решетки, уменьшаются твердость и прочность, а пластичность повышается. М. с такими свойствами мартенситом отпущенная. Обратное мартенситное превращение в углеродистых сталях не наблюдается, поскольку при нагревании углерод успевает выйти из кристаллической решетки М. и обратный его переход в аустенит происходит диффузионно. В безуглеродистых сплавах (железо — никель) альфа-гамма-превращение происходит бездиффузионно. Кроме альфа-мартенсита (рис. с. 771) с объемноцентрированной кубической решеткой, в *марганцовистых сталях* ($< 10\% \text{ Mn}$) образуются ϵ -мартенсит с гексагональной плотноупакованной решеткой (см. *Энциклон-фаза*) и ϵ' -мартенсит с решеткой восемнадцатислойной ромбоэдрической. Подобно аустениту, у этих фаз плотноупакованная решетка, поэтому в них растворяется углерода больше, чем в объемноцентрированной кубической решетке. Внедренные атомы углерода создают в ϵ - и ϵ' -мартенсите меньшие искажения решетки, в результате чего твердость и прочность такой стали в два раза меньше твердости закаленной углеродистой стали. В процессе деформирования ϵ' - и ϵ -мартенсит превращаются в альфа-мартенсит в такой последовательности: $\gamma \rightarrow \epsilon' \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha$. При t -рах соответственно 100 и 200°C ϵ' - и ϵ -мартенсит превращаются в аустенит, т. е. происходит обратное мартенситное превращение ($\epsilon' \rightarrow \gamma$ и $\epsilon \rightarrow \gamma$). В др. металлах и сплавах, где пет внедренных атомов углерода или азота, св-ва М. мало отличаются от св-в исходной фазы. В цветных сплавах (медь — алюминий — никель, золото — кадмий) возможен образование кристаллов термоупругого мартенсита. При охлаждении размеры кристаллов такого М. увеличиваются, а при нагреве уменьшаются, что обуславливается

образованием мартенситных превращением. Образование М. сопровождается увеличением (на $4-5\%$) объема стали, вследствие чего возникают большие внутренние напряжения, приводящие к *короблению* и разрушению изделий. Кроме того, внутренние напряжения появляются из-за направленного кооперативного сдвига, способствующего возникновению мартенсита. Частично эти напряжения снижаются вследствие образования в М. внутренних двойников, дислокаций, создания особой формы кристаллов М. и их распределения в упругой основе исходной фазы.

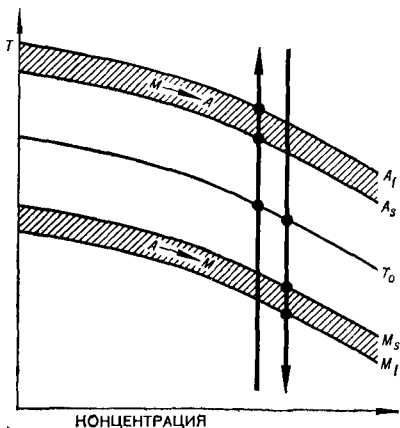
Лит.: Архаров В. И. Кристаллография закалки стали. Свердловск — М., 1951; Гуляев А. П. Металловедение. М., 1966; Лысак Л. И., Николин В. И. Физические основы термической обработки стали. К., 1975.

Б. И. Николин.

МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ — превращения первого рода в твердом теле, в результате которых из исходной фазы бездиффузионным путем образуется мартенситная фаза с новой кристаллической решеткой. В отличие от диффузионных превращений в твердом теле (в процессе которых *кристаллы* или зерна новой фазы растут вследствие диффузионного перемещения атомов от матрицы к зародышу), М. п. обуславливаются упорядоченным перемещением атомов (или молекул) от исходной фазы к зародышу *мартенсита*, причем такие перемещения относительно друг друга малы по сравнению с межатомным расстоянием кристаллической решетки. Подобно др. фазовым превращениям М. п. начинаются с образования и последующего роста зародышей. После превращения твердое тело состоит из конгломерата мартенситных кристаллов и остаточной фазы. М. п. происходят, если уменьшается свободная энергия системы вследствие различной ее величины у исходной и мартенситной фаз. При охлаждении М. п. начинаются не сразу в точке фазового равновесия T_0 (рис.), где свободные энергии исходной $F_{\text{исх}}$ и мартенситной фаз $F_{\text{м}}$ равны, а при более низкой t -ре точки M_s , называемой мартенситной точкой. Подобное обстоятельство объясняется тем, что выигрыш свободной энергии ($\Delta F = F_{\text{исх}} - F_{\text{м}}$) в точке M_s

должен компенсировать затраты на упругую ΔE и поверхностную энергию ΔS кристаллов мартенсита, т. е. $\Delta F \geq \Delta E + \Delta S$. М. п. протекают в широком интервале т-р: начинаются при т-ре точки M_s и заканчиваются при т-ре точки M_f (прямые М. п.) или начинаются при т-ре точки A_s и заканчиваются при т-ре точки A_f (обратные М. п.). Если превращения развиваются по атермической кинетике, за очень короткое время образуется некоторое количество мартенсита и дальнейшая выдержка при постоянной т-ре не приводит к росту новых его кристаллов. Чтобы появилось дополнительное количество мартенсита, т-ру превращения понижают. Превращения по изотермической кинетике протекают при постоянной т-ре с различной скоростью, так что зависимость начальной скорости от т-ры имеет вид кривой с максимумом. М. п. — частный случай полиморфных превращений (см. *Полиморфизм*), происходящих при низкой т-ре бездиффузионно. Вследствие этого даже в одном и том же веществе (напр., в железе) при высокой т-ре полиморфные гамма-альфа-превращения происходят диффузионным путем, а при больших скоростях охлаждения, когда т-ра фазового перехода снижается до 500°C , они идут по мартенситному механизму. М. п. наблюдаются в сталях, во многих

Зависимость т-ры мартенситных точек и фазового равновесия мартенситного превращения от концентрации легирующего элемента.



чистых металлах (кобальте, литии, титане, цирконии), металлических сплавах (медь — алюминий, медь — кремний) и минералах. В результате М. п. образуются термически стабильные (напр., в чистых металлах, сплавах на основе титана, циркония, кобальта) и метастабильные фазы (напр., в углеродистых сталях, в сплавах медь — алюминий, медь — олово, медь — цинк). Сталь, благодаря М. п. при *закалке*, приобретает высокую *прочность* и *твердость*. В углеродистых сталях ($> 0,60\%$ С) М. п. заканчиваются при т-ре ниже 0°C . Чтобы увеличить количество мартенсита, такие стали охлаждают до т-ры ниже комнатной (см. *Холодом обработка металлов*). М. п. лежат в основе *памяти формы* *эффекта*.

Лит.: Курдюмов Г. В. Явление закали и отпуска стали. М., 1960; Лысак Л. И., Николин В. И. Физические основы термической обработки стали. К., 1975. В. И. Николин.

МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩАЯ

СТАЛЬ — сталь, высокая прочность к-рой достигается в результате превращения *аустенита* в *мартенсит* и последующего старения мартенситной основы. Применяется с 60-х гг. 20 в. Основой безуглеродистых М. с. ($< 0,03\%$ С) является железо, легированное никелем (6—20%). Старение мартенсита происходит в интервале т-р $350\text{—}650^\circ\text{C}$ при дополнительном *легировании* стали титаном, бериллием, алюминием, марганцем, молибденом, вольфрамом, ванадием, кремнием, медью или ниобием. При одинаковом атомном содержании элементов наибольшее *упрочнение* в процессе старения вызывает легирование титаном, бериллием, алюминием и наименьшее — молибденом, ниобием и кремнием. Легирование кобальтом не приводит к *дисперсионному твердению* мартенсита. Наличие кобальта ($\geq 5\text{—}7\%$) и никеля ($\geq 12\text{—}15\%$) при т-ре $350\text{—}450^\circ\text{C}$ вызывает образование ближнего или дальнего (при $\geq 18\text{—}20\%$ Со) порядка типа *железо* — кобальт, что способствует упрочнению стали. Кроме того, кобальт, уменьшая растворимость молибдена, вольфрама и ванадия в альфа-железе,

увеличивает объемную долю второй фазы при старении и, как следствие, усиливает упрочнение. Никель в М. с. позволяет реализовать мартенситный (сдвиговый) механизм гамма \rightarrow альфа-превращения в безуглеродистом железе при небольших скоростях охлаждения (на воздухе), повышает сопротивление хрупкому разрушению основы, а также значительно увеличивает эффективность упрочнения мартенсита при старении вследствие уменьшения растворимости мн. элементов (напр., титана, алюминия, молибдена, вольфрама и бериллия) в альфа-железе. Безуглеродистый мартенсит характеризуется (до старения) относительно небольшой прочностью ($\sigma_B = 80-100$ кгс/мм²), высокой пластичностью ($\delta = 16-20\%$; $\psi = 60-80\%$), вязкостью ($a_K = 20-30$ кгс·м/см²; $a_p = 10-14$ кгс·м/см²), низким порогом хладноломкости ($-100 \div -110^\circ\text{C}$) и малым коэфф. деформационного упрочнения. Такое сочетание св-в позволяет деформировать М. с. в холодном состоянии до высоких степеней обжатия (80—95%), без промежуточных разупрочняющих отжигов. Старение мартенсита, повышая прочность, снижает пластичность и вязкость. В отличие от среднелегированных углеродистых сталей, упроч-

няемых углеродом, р-рый находится в твердом растворе и (или) в составе второй (карбидной) фазы, М. с. упрочняется в результате образования сегрегаций и (или) дисперсных частиц интерметаллидных фаз (Ni_3Ti , Ni_3Mo , NiAl , NiBe и др.). С увеличением прочности при старении пластичность и вязкость сталей, легированных молибденом, снижаются менее интенсивно, чем пластичность и вязкость сталей, легированных титаном и алюминием. Прочность М. с. (от 110—130 до 240—260 кгс/мм²) регулируют изменением хим. состава стали и режима старения. Хим. состав сталей подбирают т. о., чтобы при т-ре 20°C не было остаточного аустенита. У многих М. с. оптимальные мех. св-ва (табл.) достигаются после закалки от т-ры $820-850^\circ\text{C}$ и старения при т-ре $480-520^\circ\text{C}$ в течение 2—4 ч. Наилучшее сочетание прочности, пластичности и вязкости у сложнелегированных М. с., содержащих 17—19% Ni, 7—12% Co, 3—5% Mo и 0,2—1,6% Ti. Изменяя содержание титана (от 0,2 до 1,6%), регулируют предел прочности от 140—150 до 230—250 кгс/мм². Широко распространена сталь марки H18K9M5T, содержащая 0,6—0,8% Ti. После старения при т-ре $480-500^\circ\text{C}$ в течение 3 ч ее св-ва: $\sigma_{0,002} = 140-160$ кгс/мм²; $\sigma_{0,2} = 180-200$ кгс/мм²; $\sigma_B = 190-210$ кгс/мм²; $\delta = 8-10\%$; $\psi = 45-55\%$; $a_K =$

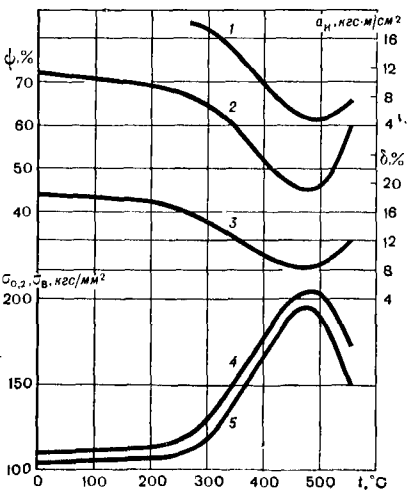
Химический состав и свойства мартенситносталящих сталей

Марка стали	Содержание элементов, %					$\sigma_{0,2}$	σ_B	σ	ψ	a_K	a_p	σ_B^H	σ_{-1}
	Ni	Co	Mo	Ti	Прочие	кгс/мм ²			%	кгс \times м/см ²		кгс/мм ²	
H18K8M3T	18	8	3	0,2	—	140	145	15	65	8	3,5	230	70
H18K7M5T	18	6—8	5—6	0,5	—	170	180	8	50	5	—	230	78
H18K9M5T	17,5—18,5	8,5—9,5	4,5—5,5	0,6—0,9	—	190	210	8	50	5	2	230	65
H18K12M3T2	17—18	12—13	3,3—4,2	1,4—1,7	—	235	240	9	50	3	—	—	—
H17K11B10M2T	16—17	10—11	1—1,2	0,6—0,8	9—10W	230	235	8,5	48	5	—	—	—
X11H10M2T	9—10,3	—	1,8—2,3	0,7—1,1	10—11,3Cr	148	155	12	58	5	2	—	—
X11H10M2T	9—10	—	1,8—2,3	1,0—1,4	10—11,3Cr	170	175	12	50	3,7	—	—	—
X12H9M2dT	8—9	—	0,5—1,0	0,5—1,0	12—13Cr 2—2,5Cu	150	155	10	50	5	—	—	—
X14H4K14M3T	3,8—4,8	13—14	2,6—3,2	0,2—0,5	13—14,5Cr	150	165	20	62	8	—	—	—

Примечания: 1. В сталях содержится $\leq 0,03\%$ C, $\leq 0,01\%$ S, $\leq 0,01\%$ P, $\leq 0,1\%$ Mn и $\leq 0,1\%$ Si. 2. Св-ва даны после закалки и старения при т-ре $480-520^\circ\text{C}$ в течение 3 ч.

4—6 кгс·м/см²; $\sigma_B/\sigma_B = 1,4—1,6$ (рис.). Параметр вязкости разрушения k_{1c} , характеризующий интенсивность напряжения, при которой наступает быстрое распространение трещины (хрупкое разрушение), у стали марки Н18К9М5Т намного выше (280—340 кгс·мм^{3/2}), чем у малолегированной углеродистой стали (180—220 кгс·мм^{3/2}) эквивалентной прочности. Понижение t_p от 20 до —196°С приводит к увеличению прочности (с 200 до 240 кгс·мм²) при незначительном снижении пластичности и вязкости ($a_H = 3—4$ кгс·м/см²; $\delta = 6—8\%$; $\psi = 40—45\%$). Плотность стали марки Н18К9М5Т 8 г/см³; коэфф. термического расширения (т-ра 20—480°С) $11,2 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹; коэфф. теплопроводности 0,05—0,06 кал/см·сек·град; модуль упругости $(18 \div 19) 10^3$ кгс/мм²; модуль сдвига $(7 \div 7,2) 10^3$; коэфф. Пуассона — 0,44. Электрическое сопротивление, коэрцитивная сила и индукция насыщения после закалки и старения при t_p 480°С в течение 3 ч составляют соответственно 60—61 мком/см, 22—24 э и 19—21; 38—39 мком/см,

Зависимость ударной вязкости (1), относительного сужения (2), удлинения (3), предела прочности на растяжение (4) и условного предела текучести при растяжении (5) мартенситностареющей стали марки Н18К9М5Т от t_p старения.



27—29 э и 18—20. Кюри точка после закалки 350—360°С, после старения при t_p 680°С в течение 3 ч — 50—60°С; критические точки: A_{c1} — 560—600°С, A_{c2} — 700—740°С, M_H — 180—150°С, M_K — 80—60°С. Испытания на циклическое растяжение гладких и надрезанных образцов показали преимущество М. с. перед наиболее распространенной среднелегированной сталью марки 30ХГСНА. Поверхностное упрочнение М. с. осуществляют азотированием, при котором одновременно происходит старение. Азотированием стали марки Н18К9М5Т при t_p 450—560°С в течение 48 ч получают упрочненный ($\sim 900 HV$) слой глубиной 0,20—0,25 мм. Частично заменяя никель хромом, улучшают коррозионные св-ва М. с. Сопротивление коррозии под напряжением этих сталей превосходит сопротивление нержавеющей сталей мартенситного класса при одинаковом уровне напряжений. Высокая прочность М. с. — суммарный результат реализации трех процессов упрочнения: образования твердого раствора замещения, сдвигового (мартенситного) механизма $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения и распада пересыщенного твердого раствора (мартенсита), сопровождающегося образованием сегрегаций и (или) дисперсных частиц интерметаллидных фаз. Прочность М. с. обуславливается в основном сдвиговым механизмом $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения и распадом пересыщенного твердого раствора. Высокое сопротивление хрупкому разрушению М. с. связано со значительной вязкостью основы (мартенсита), вызванной легированием сталей никелем и кобальтом — элементами, уменьшающими энергию взаимодействия атомов внедрения с дислокациями и сопротивление движению дислокаций со стороны решетки. Низкое содержание углерода и др. примесей уменьшает плотность точек закрепления дислокаций. Большая плотность дислокаций в основе, служащих центрами зарождения частиц второй фазы и способствующих диффузии атомов легирующих элементов, благоприятно влияет на распределение дисперсных

выделений. Такое структурное состояние уменьшает степень локализации пластической деформации и облегчает *релаксацию* локальных напряжений. М. с. отличаются от низколегирован. сталей конструкционными св-вами (более высоким сопротивлением хрупкому разрушению при эквивалентной прочности и, в особенности, более высоким — в два-четыре раза — сопротивлением развитию трещин). Это отличие обуславливает малую чувствительность сталей к различным концентраторам напряжений (микротрещинам, рискам, надрезам), вследствие чего изделия из М. с. обладают высокой эксплуатационной надежностью (см. *Надежность материалов*) и долговечностью (см. *Долговечность материалов*). Большой размер трещин (при данном напряжении), допускаемый в М. с., имеет важное значение и для контроля качества изделий. Увеличивается вероятность обнаружения потенциально опасных дефектов до того, как они приведут к разрушению изделия во время эксплуатации. М. с. обладают высокими упругими св-вами. Их предел упругости намного выше, чем у распространенных пружинных сплавов (марок 36НХТЮ, 36НТЮМЗ). Стали отличаются низким порогом хладноломкости (см. *Хладостойкость*), высоким сопротивлением горячему поверхностному растрескиванию и кратковременным циклам нагрева до т-ры 500—700° С, вследствие чего их используют для изготовления штампов горячей обработки давлением. М. с. очень технологичны (см. *Технологичность*). Их упрочнение достигается несложной *термической обработкой*. Нет ограничений в *прокаливаемости* и опасности *обезуглероживания* сталей, они хорошо свариваются в тонких и массивных сечениях, легко обрабатываются и штампуются. Незначительное изменение размеров при термической обработке позволяет подвергать упрочнению (старению) готовое изделие сложной формы. Несложная технология обработки М. с., высокая надежность и долговечность изделий не только компенсируют высокую стоимость металла (из-за содержания

большого количества дорогостоящих легирующих элементов), но и делают экономически выгодным его использование в качестве конструкционного материала. М. с. с прочностью $> 140-160 \text{ кгс/мм}^2$ выплавляют в вакуумных печах (индукционных, дуговых) из чистых шихтовых материалов, поскольку наличие примесей и газов оказывает большое влияние на пластичность и вязкость. С увеличением массы слитка (при малом укове) возрастает неоднородность (*ликвация*) в распределении титана и молибдена, к-рая приводит к *анизотропии* мех. св-в, образованию *полосчатой структуры* (участков остаточной *гамма-фазы*). Степень хим. неоднородности значительно уменьшают гомогенизирующим отжигом (т-ра 1200—1220° С, 3—5 ч) и увеличением степени укова ($K = 2-5$). Слитки под ковку нагревают до т-ры 1180—1200° С. Миним. т-ра концаковки 850—900° С. Оси. причиной охрупчивания крупных поковок или штамповок является образование карбонитридов титана вдоль *границ зерен* аустенита в результате замедленного охлаждения в интервале т-р 850—950° С — т. н. «тепловая» *хрупкость*. Устраняют ее термической обработкой: нагревом до т-ры 1150—1200° С в течение 1 ч, охлаждением в воде; трехкратной закалкой от т-ры 900—950° С и старением при т-ре 480—520° С в течение 3 ч. Из М. с. изготавливают узлы и детали конструкций, от к-рых требуется высокая удельная прочность в сочетании с большой эксплуатационной надежностью (напр., сосуды высокого давления и др. изделия). М. с. используют в хим. пром-сти, в судостроении, криогенной технике, а также для изготовления высоконагруженных деталей машин и механизмов, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера.

Лит.: Перкас М. Д., Кардонский В. М. Высокопрочные мартенситно-старяющие стали. М., 1970; Ревякин А. О. К. [и др.]. Термическая обработка крупных штамповок и прутков из стали 00Н18К9М5Т. «Металловедение и термическая обработка металлов», 1971, № 4; Потан Я. М. Высокопрочные стали. М., 1972. М. Д. Перкас.

МАРШАЛЛИТ — осадочная тонкозернистая рыхлая или слабо уплотненная кварцевая горная порода. Синонимы: песок мучни-

гый) (или песок порш-коватый); кварц пылевидный (или кварц мучнистый); горная мука (или пылевидный кремнезем); кварцевый пелит; алеврит. М. характеризуется однородностью сложения, состоит в основном (80—90%) из угловатых неокатанных зерен *кварца* пелитовой или алевритовой размерности с небольшой примесью более крупных зерен кварца, глинистых частиц и акцессорных минералов. Цвет М. белый, сероватый, примеси соединенный железа часто придают ему бурожелтую окраску. Содержит кварц (93—94%), *каолинит* (5—6%), примеси *полевого шпата*, *халцедона*, *илменита*, акцессорных минералов (*клинита*, *ставролита*, *силлиманита*, *турмалина*, *лейкоксена*, *рутила*, *циркона* и др.). Хим. состав М. непостоянен (%): SiO_2 — $88,45 \div 97,0$; Fe_2O_3 — $0,31 \div 3,14$; TiO_2 — сл. $\div 1,01$; Al_2O_3 — $0,10 \div 5,04$. По технологическим св-вам М. подобен молотому кварцу (кварциту). Легко облагораживается отмучиванием, измельчением доводится до нужной тонины. Структура типичного М. пелитовая или тонкоалевритовая, без цементации. Залежи М. встречаются во многих районах и образуются различными путем. На Урале М. представляет собой остаточный продукт выветривания палеозойских кремнисто-глинистых *сланцев* и *окремнелых известняков*. На Украине он сопутствует неогеновой платформенной полифакальной формации. В уральском М. содержание фракции 0,05—0,01 мм составляет от 17,2 до 45,6%; фракции 0,01—0,005 мм — от 45,6 до 74,9%. М. используют для получения *растворимого стекла*, в керамическом и стекольном произ-ве и др.

Лит.: Мамуровский А. А., Ависов Б. П. Пылевидный кварц как промышленное сырье. «Минеральное сырье», 1937, № 10—11; Геологический словарь, т. 1. М., 1973. Ю. Е. Добрянский.

МАСС-СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

— анализ материала по спектру масс атомов и молекул, входящих в его состав. Используется с начала 20 в. Сущность анализа состоит в том, что ионизированные атомы и молекулы материала вначале разделяют в зависимости от величины от-

ношения $\frac{m}{e}$ (m — масса иона; e — заряд иона), а затем отдельно регистрируют. Из полученного спектра определяют величины масс и относительное содержание компонентов в материале. В процессе М.-с. а. отношение $\frac{m}{e}$ измеряют на масс-спектрометрах — приборах, разделяющих с помощью электр. и магн. полей пучки заряженных частиц (ионов). По принципу действия различают масс-спектрометры статические и динамические. В статических масс-спектрометрах траектории ионов в постоянных (т. е. практически неизменяющихся за время пролета ионов через прибор) электр. и магн. полях зависят от отношения $\frac{m}{e}$. В динамических масс-

спектрометрах отношение $\frac{m}{e}$ определяют или по периоду колебаний в переменных электр. и магн. полях, или по периоду обращения либо по циклотронным резонансным частотам, или по частоте и амплитуде переменного квадрупольного поля. Кроме масс-спектрометров (с электрической регистрацией ионных токов), при М.-с. а. используют масс-спектрографы (с фотограф. регистрацией ионных пучков). Осн. части масс-спектрометра (рис. с. 778): ионный источник, в котором происходят ионизация исследуемого материала и формирование слабо расходящегося пучка ионов; анализатор, разделяющий пучок ионов на составляющие с различным отношением $\frac{m}{e}$, и при-

емник ионов, соединенный с регистрирующим устройством. Приемником ионов в спектрометре служат один или несколько электродов (коллекторов ионов), соединенных с усилителями ионных токов, либо вторично-электронный умножитель открытого типа, либо детектор ионов, в котором ионный ток преобразуется в электронный, а электронный ток регистрируется с помощью *люминофора* и фотоэлектронного умножителя. В масс-спектрометре входят также система

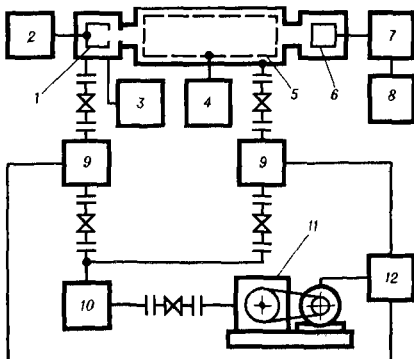
для создания вакуума (в области анализатора не менее 10^{-7} , в объеме ионного источника $10^{-5} - 10^{-6}$ мм рт. ст.) и стабилизированные источники питания ионного источника, анализатора и усилителей ионного тока. Приемник ионов в масс-спектрографе представляет собой фотопластинку. Ионные источники масс-спектрометра должны обеспечивать небольшую расходимость пучка ионов, малый разброс ионов по энергиям, высокую и стабильную во времени их интенсивность и значительную эффективность ионизации. Для анализа газов чаще всего применяют источник с электронной бомбардировкой, обеспечивающей стабильность ионных токов до $\pm 0,05\%$ и малый разброс ионов по энергиям. Для анализа твердых материалов используют преим. искровой источник, в котором ионы возникают при высокочастотном искровом разряде в вакууме, напр. между заостренным электродом и исследуемым образцом. Другим распространенным типом является источник с ионной бомбардировкой, в котором используется вторичная ионно-ионная эмиссия. Используются также эмиссия ионов при бомбардировке образца электронным пучком, а также при лазерном облучении. Все твердотельные ионные источники образуют ионы с большим разбросом по энергиям, поэтому в масс-спектрометре с такими источниками применяют либо анализаторы с двойной фокусировкой (по массам и энергиям), либо квадрупольные и времяпролетные масс-анализаторы. Регистрация ионных токов с помощью усилителей постоянного тока позволяет измерять токи до 10^{-15} а, а с помощью вторичноэлектронных умножителей — до 10^{-19} а. Газовый анализ с помощью масс-спектрометра дает возможность измерять парциальные давления газов до $10^{-14} - 10^{-15}$ мм рт. ст., чувствительность анализа твердых материалов составляет $10^{-6} - 10^{-8}\%$. М.-с. а. применяют для прецизионного определения масс атомов и молекул, для исследования изотопного состава хим. эле-

ментов, определения хим. состава сложных веществ и др. В материало-ведении чаще всего проводится анализ многокомпонентных газовых смесей, примесей, послойный анализ тонких пленок и поверхностных слоев, локальный элементный и изотопный анализ. Анализ многокомпонентных газовых смесей используют, напр., для исследования газотопления материалов при радиационной или термической обработке, для определения состава остаточных газов в вакуумных системах. Этот анализ основан на измерении величин ионного тока, если существует пропорциональность между парциальными давлениями исследуемых компонентов и соответствующими ионными токами. Определение примесей ведется в основном на масс-спектрометрах с искровым источником и основано на сравнении ионного тока определяемого изотопа или элемента с ионным током изотопа, находящегося в излучаемом материале в известной концентрации и используемого в качестве внутреннего эталона. Концентрацию примеси C_{Π} определяют по ф-ле

$$C_{\Pi} = C_{\text{э}} \frac{i_{\Pi}}{i_{\text{э}}} \cdot \frac{R_{\text{э}}}{R_{\Pi}} \cdot \frac{K_{\text{э}}}{K_{\Pi}}, \text{ где } C_{\text{э}} - \text{концентрация эталона; } i_{\Pi} \text{ и } i_{\text{э}} - \text{ионные}$$

токи пиков соответственно примеси

Блок-схема масс-спектрометра, используемого в масс-спектральном анализе: 1 — ионный источник; 2 — блок питания ионного источника; 3 — система напуска; 4 — блок питания анализатора масс; 5 — анализатор масс; 6 — приемник ионов; 7 — усилитель ионных токов; 8 — регистрирующее устройство; 9 — высоковакуумный насос; 10 — форвакуумный баллон; 11 — форвакуумный насос; 12 — блок управления вакуумной системой.



и эталона; R_{Π} и R_{Σ} — распространенности соответственно изотопов примеси и эталона; K_{Π} и K_{Σ} — коэфф. относительной чувствительности примеси и эталона. Величину тока измеряют электр. приборами либо учитывая потемнение фотопленки с помощью микрофотометра при известной экспозиции. При искровом методе ионообразования коэфф. относительной чувствительности различных элементов разнятся на величину менее одного порядка (< 10). Для надежной идентификации линий и определения примесей применяют приборы высокого разрешения и с двойной фокусировкой (по массам и энергиям). Послойный анализ тонких пленок и поверхностных слоев осуществляют масс-спектрометрическим определением состава продуктов вторичной эмиссии при бомбардировке образца пучком быстрых ионов. Если известен коэфф. распыления (S , атомов/ион), то скорость распыления поверхности v_s может быть оценена по

$$\text{ф-ле } v_s = 1,045 \frac{J_0 SA}{\rho} [\text{\AA} \cdot \text{сек}^{-1}],$$

где J_0 — плотность первичного ионного тока, $\text{ма} \cdot \text{см}^{-2}$; A — атомная масса мишени, а. е. м.; ρ — плотность мишени, $\text{г}/\text{см}^{-3}$. При плотности тока $1 \text{ ма} \cdot \text{см}^{-2}$ скорость распыления металлов составляет от $50 \text{ \AA} \cdot \text{сек}^{-1}$ (палладий) до $17 \text{ \AA} \cdot \text{сек}^{-1}$ (тантал), что позволяет обеспечить послойное разрешение $5 \div 10 \text{ \AA}$. Чувствительность составляет $10^{-6}\%$ и ниже, изменение коэфф. относительной чувствительности достигает трех порядков величины (10^3), что затрудняет количественный анализ. Локальный анализ проводят либо с помощью ионного микрозонда, формируя ионный пучок малого диаметра (до 1 мкм), облучая им выбранный участок мишени и определяя (масс-спектрометром) состав продуктов вторичной ионной эмиссии, либо с помощью масс-спектрального микроскопа. Ионный поток, переносящий увеличенное микроскопом изображение, к-рое образовано вторичными ионами, выбитыми ионной бомбардировкой из анализируемой мишени, разделяют по массам с помощью стигматичной

магн. системы, после чего на экране формируют изображение поверхности в ионах выбранного сорта — концентрационную топограмму. Методы локального анализа применяют для изучения процессов *химико-термической обработки и диффузии*, особенно легких элементов (бора, бериллия, лития); в сочетании с техникой стабильных изотопов — для изучения самодиффузии и окисления. Локальный анализ с лазерным ионообразованием обеспечивает локальность $10 \div 30 \text{ мкм}$ и такое же послойное разрешение при почти одинаковой для всех элементов относительной чувствительности. Недостаток локального лазерного анализа — наличие в спектре масс большого количества многозарядных ионов, что затрудняет расшифровку и проведение количественного анализа.

Лит.: Чупахин С. М., Крюкова О. И., Рамендик Г. И. Аналитические возможности искровой масс-спектрометрии. М., 1972; Локальные методы анализа материалов. М., 1973; Джейрам Р. Масс-спектрометрия. Пер. с англ. М., 1969. В. Т. Черепин.

МАСШТАБНЫЙ ФАКТОР ПРОЧНОСТИ (от нем. Maßstab — мерная линейка, мерило) — фактор, определяющий изменение характеристик механических свойств твердых тел с изменением их абсолютных размеров. Если абс. размеры, напр., поперечного сечения образцов увеличиваются, то средние значения их предела прочности при хрупком разрушении и предела выносливости снижаются, при этом снижаются и средние квадратичные отклонения этих пределов. С ростом абс. размеров повышается критическая *т-ра хрупкости*, облегчается переход в хрупкое состояние, ухудшаются и др. характеристики мех. св-в. М. ф. п. металлов обуславливается влиянием металлургических факторов, мех. обработкой и окончательной отделкой поверхности изделий, а также статистической природой процессов разрушения. Влияние металлургических факторов связано с уменьшением степени уковки и штампования, менее качественной *термической обработкой* и т. д. Влияние мех. обработки и окончательной отделки обусловле-

но различным влиянием наклепа, остаточных напряжений в поверхностном слое и микрогеометрии поверхности на мех. св-ва больших и малых образцов. Статистическая природа процессов разрушения связана со значительным влиянием неоднородностей микроструктуры и дефектов металла на процесс возникновения и развития трещин. Наилучшее качественное и количественное описание влияния абс. размеров изделий на характеристики сопротивления хрупкому и усталостному (см. Усталость материалов) разрушению дает статистическая теория прочности, основанная на гипотезе «прочности наиболее слабого звена». Эта теория позволяет вычислять характеристики прочности изделий больших размеров, к-рые без разрушения испытать невозможно. Суммарное влияние концентрации напряжений и масштабного фактора на предел выносливости согласно этой теории выражается коэффициентом

$$K_{\sigma D} = \frac{2\alpha_{\sigma}}{1 + \left(\frac{1}{88,3} \cdot \frac{L}{\bar{G}} \right)^{-\nu_{\sigma}}} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1d}}, \quad (1)$$

где α_{σ} — теоретический коэфф. концентрации напряжений; L — периметр или часть периметра поперечного сечения изделия, прилегающая к зоне повышенной напряженности, мм; \bar{G} — относительный градиент первого главного напряжения в зоне концентрации у дна надреза, мм⁻¹; ν_{σ} — константа, характеризующая чувствительность материала к концентрации напряжений и масштабному фактору; σ_{-1} — предел выносливости лабораторного образца стандартных размеров; σ_{-1d} — предел выносливости натурного изделия. С ростом ν_{σ} уменьшается чувствительность к концентрации напряжений и усиливается масштабный эффект. У углеродистых сталей $\nu_{\sigma} = 0,10 \div 0,18$, у легированных сталей $\nu_{\sigma} =$

$= 0,04 \div 0,11$, у деформируемых алюминия сплавов $\nu_{\sigma} = 0,08 \div 0,20$.

Влияние М. ф. п. на предел выносливости σ_{-1d} круглых образцов без концентраторов напряжения при изгибе с вращением определяют по ф-ле (1) при $\alpha_{\sigma} = 1$, а $L/\bar{G} = \pi d^2/2$ (d — диаметр образца) как $\sigma_{\sigma} = \sigma_{-1d}/\sigma_{-1} = 1/K_{\sigma D}$. При хрупком разрушении влияние размеров на прочность изделия сильнее всего проявляется у графита, керамических материалов и чугунов.

Лит.: Болотин В. В. Статистические методы в строительной механике. М., 1965; Механическая усталость в статистическом аспекте. М., 1969; Фридман Я. В. Механические свойства металлов, ч. 2. М., 1974; Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. М., 1975.

В. П. Когаев.

МЕДИ СПЛАВЫ — сплавы на основе меди. В виде бронзы применялись за 3000 лет до н. э. В жидком состоянии медь сплавляется со многими элементами, с большинством из них — в любом соотношении. Лишь вольфрам, молибден, осмий, рутений и тантал практически не сплавляются с ней. В твердом состоянии макс. растворимость элементов (в альфа-твердом растворе меди) изменяется в очень широких пределах: от сотых и десятых долей процента (хром, ниобий, свинец, ванадий, цирконий) до процентов (серебро, алюминий, мышьяк, бериллий, кадмий, кобальт, железо, магний, кремний, титан и др.) и десятков процентов (индий, олово, цинк). Неограниченно растворяются никель, золото, марганец, палладий и платина. Однако с золотом, марганцем, палладием и платиной М. с. в твердом состоянии претерпевают превращения. С увеличением концентрации легирующего элемента в альфа-твердом растворе меди повышается мех. прочность сплавов; их теплопроводность и электропроводность уменьшаются (менее всего при легировании серебром). К вредным примесям относятся висмут, сурьма, свинец и углерод (в медноникелевых сплавах), к-рые приводят к хрупкости. Стойкость против коррозии М. с. зависит от природы легирующего элемента и окружающей среды. Преобладают стойкость никель, олово и алюминий. С понижением т-ры раст-

виримость большинства легирующих элементов в альфа-твердом растворе меди уменьшается (наиболее значительно у сплавов с бериллием — бериллиевой бронзы). Дисперсионное твердение при отпуске закаленной бериллиевой бронзы позволяет получать высокие значения пределов прочности (125 кгс/мм^2) и упругости (77 кгс/мм^2). По хим. составу М. с. подразделяют на медноцинковые (латуни), бронзы и медноникелевые. Марки латуней обозначают буквой Л и цифрой, указывающей среднее содержание меди. В обозначениях марок многокомпонентных латуней после буквы Л следуют начальные буквы легирующих элементов, а после цифры — их содержание (см. также *Латунь*). Марки бронз обозначают буквами Бр, начальными буквами легирующих элементов и цифрами, соответствующими их содержанию (см. также *Бронза*). Марки медноникелевых сплавов обозначают буквами МН и начальными буквами легирующих элементов, цифры соответствуют содержанию никеля и этих элементов (см. также *Медноникелевые сплавы*) (табл.).

По способу изготовления различают М. с. литейные, деформируемые и спеченные (металлокерамические). Плавят М. с. в электр. печах, гл. обр. в индукционных низкочастотных с железным сердечником и кварцевой футеровкой. Используют также от-

крытые и вакуумные высокочастотные печи. Литье ведут в медные (реже чугунные) изложницы (наполнительный метод отливки) или в медный кристаллизатор (метод полунепрерывного литья). Легирующие элементы вводят в расплав непосредственно или (если содержание легирующего компонента невелико) с помощью *лигатур*. Хорошие результаты дает применение электрошлакового переплава, что обусловливается растворением окисных и других включений во флюсе и направленным затвердеванием слитка. При изготовлении *оловянистых бронз* применяют раскисление или легирование фосфором (0,1—0,4%); для устранения вредного влияния примесей на *пластичность* и для улучшения качества в сплавы добавляют небольшое количество лития, бора, титана и др. Спеченные изделия из М. с. (втулки, фрикционные диски и т. п.) изготавливают смешиванием *медного порошка* и др. компонентов, прессованием и высокотемпературным спеканием либо припеканием в водороде или вакууме. М. с. хорошо (в основном) поддаются обработке давлением в горячем состоянии. Исключение составляют некоторые М. с., содержащие свинец и олово; такие сплавы подвергают выдавливанию через матри-

Свойства бинарных меди сплавов

Марка сплава	σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²	δ , %	δ , мм·мм ² /мм	λ , кал/см ³ × сек × град	НВ	Состояние
БрА7	86	77	3	0,087	0,19	250	Холодно-катаное
БрБ2	125	104	3	0,07	0,25	370	Закалка с отпуском
БрМг0,3	53	—	3	0,020	0,58	135	Холодно-катаное
БрМп5	70	50	2	0,143	0,10	160	»
МН19	80	60	5	0,287	0,092	128	»
БрО10	25—30	18	10—3	—	0,115	70—80	Литое
БрС30	8	4	6	—	0,34	25	»
БрХ0,5	41	27	22	0,021	0,75	130	Закалка с отпуском
ЛП70	68	45	3	0,065	0,29	180	Холодно-катаное

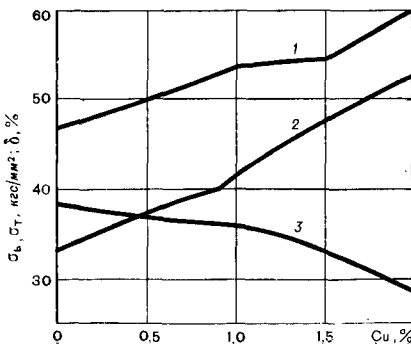
Примечание: Свойства приведены при температуре 20° С.

цу. В холодном состоянии М. с. обрабатываются хорошо, за исключением сплавов с большим содержанием легирующих элементов. Полуфабрикаты из М. с. в виде полос, лент, фольги, прутков, проволоки или труб изготовляют горячей и холодной прокаткой с промежуточными *отжигами* на воздухе при t -ре 500—850° С с последующим *травлением* в серной к-те. Применяется также безокислительный *отжиг*. Большинство М. с., исключая сплавы, содержащие большое количество легирующих элементов, хорошо деформируются волочением. По назначению М. с. подразделяют на антифрикционные, жаропрочные, конструкционные, пружинные и электротехнические. К антифрикционным М. с. относятся бинарная *свинцовистая бронза* (30% Pb), применяемая для заливок стальных вкладышей тяжело нагруженных подшипников; сложные свинцовооловянистые бронзы (например, 25% Pb, 5% Sn), используемые для изготовления втулок и др. узлов трения; легированные *алюминиевые бронзы*; свинцовистая латунь. Жаропрочные М. с. предназначены для изготовления проводников электр. тока, эксплуатируемых при высокой t -ре, электродов сварочных машин. Используют их и в реактивной технике. Такие М. с. обладают повышенной прочностью при t -ре 300—800° С и хорошей проводимостью (40—95% от проводимости меди). Они содержат от одного до трех легирующих элементов (кадмий, хром, магний, цирконий и др.) и используются, как правило, после термической обработки, повышающей прочность и проводимость. К конструкционным М. с. относятся гл. обр. бинарные латуни и латуни, легированные небольшими добавками олова, алюминия, железа, кремния, никеля и марганца. Из них изготовляют трубы для конденсаторов и радиаторов, посуду, гильзы и др. В сложных условиях эксплуатации применяют бронзы или М. с. с никелем. Осн. пружинными сплавами являются бериллиевая бронза и ее заменители, обладающие способностью к термической обработке. Высококачественны-

ми заменителями бериллиевой бронзы служат пружинные медноникелевые сплавы, превосходящие ее по *жаропрочности*, но уступающие по проводимости. К пружинным М. с. относятся также *специальная латунь* марки ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,3 ($\rho = 0,1 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$) и спец. бронза, содержащая 2,4—2,8% Ni, 0,5—0,7% Si и 0,3—0,5% Cr ($\rho = 0,04 \text{ ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$). Эти термически обрабатываемые сплавы применяют для изготовления пружин, эксплуатируемых до t -ры 130° С. Электротехнические М. с. отличаются малым температурным коэфф. электросопротивления, жаропрочностью. Используют их для изготовления электр. приборов, реостатов, резисторов. К ним относятся *константан, конпель, манганин* и др. Лит.: Сучков Д. И. Медь и ее сплавы. М., 1967; Алексеева Е. А., Коновалова И. Н. Металлы и сплавы для упругих элементов радиокомпонентов. М., 1971; Захаров М. В., Захаров А. М. Жаропрочные сплавы. М., 1972; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974. А. В. Бобылев.

МЕДИСТАЯ СТАЛЬ — сталь, легированная, наряду с др. хим. элементами, *медью*. Используется с конца 19 в. Различают М. с. конструкционную и с особыми физ. и хим. св-вами (*нержавеющую сталь, коррозионно-стойкую сталь*). Медь расширяет гамма-область, смещает эвтектоидную точку на *диаграмме состояния железо — углерод* к более низким содержаниям углерода, повышает *прочность и текучесть* феррита, спо-

Зависимость предела прочности на растяжение (1), а также текучести (2) и удлинения (3) низкоуглеродистой нормализованной медистой стали от содержания меди.



обобцует графитизацию, снижает критическую скорость закалки. С понижением т-ры растворимость меди в альфа-железе уменьшается. Если меди содержится более 0,3%, после закалки и отпуска при т-ре 400—600° С в стали происходит *дисперсионное твердение*. Предельное *упрочнение* наблюдается, если в стали содержится более 1,0—1,5% Cu. При выплавке стали медь не окисляется, что неизбежно приводит к увеличению ее содержания. Влияние меди (более 0,2%) на сопротивление атмосферной коррозии возрастает при *совместном легировании* сталей марганцем, хромом, кремнием, а также фосфором. Горячее деформирование углеродистых М. с. часто приводит к образованию поверхностных *трещин*. Никель в таком же количестве, как и медь, устраняет образование трещин. Низколегированные низкоуглеродистые (строительные) М. с. (рис.) отличаются высоким пределом текучести, стойкостью к атмосферной коррозии, хорошими *свариваемостью*, полируемостью и сцеплением с лакокрасочными покрытиями, высокой *ударной вязкостью* при низкой т-ре и *теплостойкостью*. При толщине проката до 32 мм у стали марки 15ХСНД, содержащей 0,12—0,18% С и 0,2—0,4% Cu, в состоянии поставки (без термообработки) предел текучести ≥ 35 кгс/мм², предел прочности на растяжение ≥ 50 кгс/мм², удлинение $\geq 21\%$, ее ударная вязкость при т-ре — 70° С равна ≥ 3 кгс·м/см². После закалки и отпуска предел текучести М. с. ≥ 50 кгс/мм², предел прочности на растяжение ≥ 60 кгс/мм², удлинение $\geq 17\%$, ударная вязкость при т-ре — 70° С ≥ 3 кгс·м/см². В среднеуглеродистых низколегирован. М. с. (0,3—0,5% С) медь (0,4—1,5%) увеличивает *скозную прокаливаемость* крупных поковок, а также повышает предел текучести после отпуска. Легирование высокоуглеродистых сталей (1,0—1,2% С) медью (0,8—1,0%) после длительного нагрева при т-ре 800—850° С способствует появлению углерода отжига, что повышает антифрикционные св-ва. В высоколегированных нержавеющих и коррозионностойких М. с. (аустенитного, фер-

ритоаустенитного, мартенситного и мартенситоферритного классов) медь (0,8—3,5%) повышает сопротивление коррозии в определенных средах, понижает склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением, приводит к дисперсионному твердению. Легирование медью аустенитных хромоникелевых сталей увеличивает *коррозионную стойкость* в растворах серной к-ты. Особенно эффективно *одновременное легирование* медью и молибденом (сталь марок 06ХН28МДТ и 03ХН28МДТ). Сталь марки 03ХН28МДТ обладает повышенной стойкостью к *ножевой и межкристаллитной коррозии*. Коррозионностойкая сталь марки Х15Н5Д2Т (1,75—2,5% Cu) упрочняется вследствие дисперсионного твердения при выделении меди. У такой стали после закалки от т-ры 940—980° С (охлаждение на воздухе) и отпуска при т-ре 600—625° С предел прочности на растяжение > 90 кгс/мм², предел текучести > 70 кгс/мм² и удлинение $> 10\%$. При выплавке М. с. используют *природнолегированные чугуны*, медистый скрап и металлическую медь. М. с. получают в мартеновских печах, конверторах и электр. печах, электрошлаковым и вакуумно-дуговым переплавом. Поставляют ее в виде листов, полос, сортового проката и швеллеров. Низколегированные М. с. применяют в мосто-, судо- и турбостроении, из них изготавливают металлоконструкции для кранов тяжелого и особо тяжелого режимов эксплуатации. Нержавеющие и коррозионностойкие М. с. используют для изготовления сварных конструкций, эксплуатируемых при т-ре до 80° С в серной к-те различной концентрации, арматуры повышенного качества, сваренных деталей и гидротурбин. Марки и хим. состав конструкционных и коррозионностойких М. с. приведены соответственно в ГОСТах 5058—65 и 5632—72.

Лит.: Месъкин В. С. Основы легирования стали. М., 1964; Марочник стали и сплавов. М., 1971; Гудремон Э. Специальные стали, т. 2. Пер. с нем. М., 1966. Г. К. Гайдученко.

МЕДИЦИНСКОЕ СТЕКЛО — силикатное стекло с повышенной химической, механической и термической стойкостью и специфическими спектральными характеристиками. По содержанию окислов (табл.), влияющих на хим. стойкость, различают М. с. безборные, безбариевые натрий-кальцийсиликатные с низкой хим. стойкостью (III гидролитический класс); малоборные (менее 7% B_2O_3), безбариевые алюмоборосиликатные (I гидролитический класс); алюмоборосиликатные, содержащие окись бора и пониженное количество щелочей (I гидролитический класс). Физ.-хим. свойства стекла улучшают, упрочняя его (см. *Высокопрочное стекло*), используя уплотненную шихту и хим. ускорители варки, применяя электротермический обогрев печей и «бурление» стекломассы, совершенствуя хим. состав. Изделия из М. с. изготовляют на стеклоформирующих машинах секционного типа (напр., АВ-4 и АВ-6) с фидерным питанием, машинах типа АТГ и др., иногда вручную. М. с. применяют для изготовления аптекарской посуды (банок, капельниц, детских молочных бутылок, флаконов и др.); стеклянных трубок (дрота) — полуфабриката для изготовления ампул, шприцевых цилиндров, флаконов для пенициллина и т. п.; ампул емкости 1,2; 5; 10; 20; 25; 30 и 50 мл — обычных и с пережимом; изделий

по уходу за больными (шприцев, глазных ванночек, аэрозольных баллонов и т. п.); медицинских стеклодувных аппаратов; различных изделий (бюреток, пипеток, матрацев для посевных культур, зубоврачебных ступок, пикнометров, чашек Петри и т. д.). М. с. используют также для изготовления световодов на основе *стеклянного волокна*, датчиков и фильтров для диагностических аппаратов, спец. светозащитной тары для длительного хранения медикаментов (напр., из окрашенного стекла) и т. д.

Лит.: Справочник по производству стекла, т. 1. М., 1963; Стекло. Справочник. М., 1973. А. С. Еремеева.

МЕДНЕНИЕ — нанесение слоя меди на поверхность металлических изделий. Осуществляется электролитическим способом. В гальваностегии медное покрытие защищает стальные изделия от цементации, повышает *электропроводность* стали (в биметаллических проводниках), служит промежуточным слоем, улучшающим сцепление и повышающим защитную способность никелевых, хромовых и др. покрытий, наносимых на изделия из стали, цинка, цинковых и алюминиевых сплавов. Перед меднением поверхность изделий очищают от жировых и окисных загрязнений.

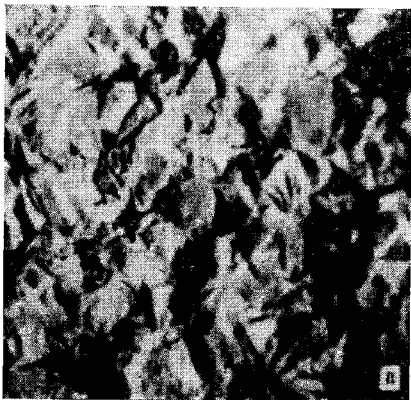
Для нанесения медных покрытий используют кислые и щелочные (комплексные) электролиты. Кислые электролиты (сернокислые, борфтористоводородные) применяют гл. обр. для

Химический состав и свойства медицинских стекол

Марка стекла	Содержание окислов, %							ρ , г/см ³	$\alpha \cdot 10^{-7}$, град ⁻¹	Термическая стойкость, °С, не менее	Химическая стойкость (гидролитический класс)
	SiO ₂	Na ₂ O	MgO	CaO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O				
НС-1	73,0	8,5	1,0	7,0	4,0	4,5	2,0	2,44	70	150	I
НС-2	73,0	11,0	1,0	7,0	2,5	3,5	2,0	2,45	80	145	I
НС-3	72,8	8,1	0,8	6,1	6,0	4,5	1,7	2,42	65	150	I
АБ-1	73,0	13,5	2,5	7,0	—	3,0	1,0	2,46	86	130	III
МТО	73,0	15,5	2,0	8,0	—	1,5	—	2,47	90	125	III
ОС	73,5	15,5	0,5	9,0	—	1,5	—	2,47	92	125	III
ОС-1	73,0	15,7	4,0	6,0	—	1,3	—	2,46	92	135	III

М. изделий несложной конфигурации, в связи с тем, что эти электролиты отличаются небольшой рассеивающей способностью и образуют слой меди менее равномерные по толщине, чем щелочные (комплексные). В кислых электролитах нельзя непосредственно меднить изделия из стали, цинка и цинковых сплавов, поскольку эти металлы контактно вытесняют медь из кислого раствора ее соли в виде пористого, плохо сцепленного с основой, иногда рыхлого (на цинке) осадка. Поэтому перед М. из кислых электролитов на поверхность стальных изделий предварительно наносят тонкий (~ 3 мкм) слой меди из цианистых растворов (из к-рых медь

Слой меди из сернокислых электролитов при плотности тока на катоде 5 а/дм^2 : а — без добавок, $\times 10\,000$; б — с добавкой смачивателя (поверхностно-активного вещества), $\times 8000$.



контактно не вытесняется др. металлами) или никеля из обычного кислого электролита. Изделия из цинка и цинковых сплавов, как правило, покрывают медью только из цианистого раствора. Для нанесения слоя меди используют сернокислые электролиты примерного состава (в г/л): $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} - 150 \div 250$; H_2SO_4 (плотность $1,84 \text{ г/см}^3$) — $50 \div 70$. Т-ра электролита $20 - 50^\circ \text{С}$. Плотность тока на катоде без перемешивания электролита — до $2 \div 3 \text{ а/дм}^2$, при перемешивании электролита сжатым воздухом — до $5 \div 10 \text{ а/дм}^2$ и выше в зависимости от интенсивности перемешивания, т-ры электролита, размеров и формы изделий и толщины покрытия. Аноды делают из чистой электролитной меди. Плотность тока на аноде прибл. равна плотности тока на катоде. Катодный и анодный выходы по току около 100%. При добавлении к электролиту поверхностно-активных веществ образуются гладкие плотные слои с мелкозернистой структурой (рис.). Для получения блестящего покрытия к электролиту добавляют мочевины, тиомочевину ($1 - 10 \text{ мг/л}$) и ее производные, сахарную патоку (до 100 мг/л), нафталиндисульфокислоту, полиакриламид и его производные, уреины, продукты гидролиза белка, продукты конденсации моносахаридов или полисахаридов, производные аминов и др. вещества.

Примерный химический состав борфтористоводородного электролита (в г/л): $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2 - 225$; $\text{HBF}_4 - 15$; $\text{H}_3\text{BO}_3 - 15$; $\text{pH} = 0,8 - 1,7$. Т-ра электролита $25 - 50^\circ \text{С}$. Плотность тока на катоде $5 - 10 \text{ а/дм}^2$. Из щелочных (комплексных) электролитов чаще всего используют цианистые и пиррофосфатные. По сравнению с кислыми они обладают значительно лучшей рассеивающей способностью и образуют более равномерные по толщине и мелкозернистые по структуре слои меди. Вместо токсичных цианистых электролитов применяют (кроме пиррофосфатных) этилендиаминные, полиэтиленполиаминовые, аммиачные и др. Примерные составы цианистых электролитов (в г/л): Cu (в виде комплексной цианистой со-

ли) — $13 \div 20$; $\text{NaCN}_{\text{своб}}$ — $12 \div 15$; Na_2CO_3 — $15 \div 30$ (т-ра $18-30^\circ\text{C}$, плотность тока на катоде $0,3-1,0 \text{ а/дм}^2$, выход по току $40-60\%$) или: Cu — 60; $\text{NaCN}_{\text{своб}}$ — 10; Na_2CO_3 — $50 \div 70$ (т-ра $35-40^\circ\text{C}$, плотность тока на катоде до $2 \div 3 \text{ а/дм}^2$, выход по току $70-80\%$). При большей плотности тока (до $4-5 \text{ а/дм}^2$) т-ру электролита повышают до $55-70^\circ\text{C}$, а концентрацию свободного цианида ($\text{NaCN}_{\text{своб}}$) снижают до $5-6 \text{ г/л}$. Чтобы избежать при этом пассивирования анодов, в электролит вводят сегнетову соль (виннокислый калий — натрий) $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ или роданистый натрий (калий) — до 60 г/л . Для получения блестящего покрытия к цианистому электролиту добавляют тиосульфат натрия ($0,5 \text{ г/л}$), фурфуроловый спирт ($0,3-0,6 \text{ г/л}$), изопропилнафталинсульфонат натрия ($0,02-0,06 \text{ г/л}$), сернокислый марганец (вместе с винной кислотой), соединения селена, различные спирты и т. п. Аноды делают из чистой электролитной меди. Во всех цианистых электролитах рекомендуется поддерживать отношение анодной поверхности к катодной $2 : 1$. Состав пирофосфатных электролитов (в г/л): Cu — в виде пирофосфорнокислой соли меди $\text{K}_6\text{Cu}(\text{P}_2\text{O}_7)_2$ — $20 \div 25$; $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ общий — $330 \div 350$; $\text{pH} = 8,5-9,0$. Т-ра электролита 50°C , плотность тока на катоде и аноде $0,5-3,0 \text{ а/дм}^2$, выходы по току $98-80\%$ соответственно интервалу плотностей тока. Чтобы слой более равномерно распределялся (по толщине) на катодной поверхности, к электролиту добавляют азотнокислый аммоний ($20-30 \text{ г/л}$). Аноды делают из чистой электролитной меди. Для повышения прочности сцепления слоев меди со сталью ее предварительно покрывают тонким слоем меди ($2-3 \text{ мкм}$) из разбавленного пирофосфатного раствора с повышенной концентрацией свободного пирофосфата калия (примерно в $20-25 \text{ раз}$ при комнатной т-ре в течение $0,5-3 \text{ мин}$). Надежное сцепление достигается также после кратковременной ($0,3-0,5 \text{ мин}$) катодной обработки стали перед М. в сильноокислом растворе

сернокислой или хлористой соли никеля при плотности тока на катоде $8-12 \text{ а/дм}^2$. На поверхности стали после такой обработки образуется тончайшая пленка никеля. Цинковые изделия сложной формы меднят только в цианистых электролитах. В гальванопластике М. применяют для изготовления металлических копий с металлических и неметаллических оригиналов (в полиграфии, декоративном искусстве), барельефов, труб, волноводов, матриц для штампования патефонных пластинок и др. изделий.

Лит.: Лайнер В. И., Кудрявцев Н. Т. Основы гальваностегии, ч. 1. М., 1953; Блестящие электролитические покрытия. Вильнюс, 1969; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974. Н. Т. Кудрявцев.

МЕДНОНИКЕЛЕВЫЕ СПЛАВЫ — медь сплавы, основным легирующим элементом которых является никель. Никель образует с медью непрерывный ряд *твердых растворов*, повышает *коррозионную стойкость*, *твердость*, *прочность*, модуль упругости и т-ру плавления, понижая *теплопроводность*, *электропроводность* и температурный коэфф. *электрического сопротивления* сплава. М. с. хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Из них получают листы, ленты, проволоку, прутки, трубы и др. По назначению М. с. подразделяют на конструкционные, пружинные и электротехнические. К конструкционным сплавам относятся *мельхиор* и *нейзильбер*, применяющиеся для изготовления деталей различных приборов, художественных изделий, столовых приборов и др. (свинцовистый нейзильбер из-за наличия свинца не подвергают горячей обработке). Добавляя марганец, алюминий и др. элементы, получают высокопрочные термически обрабатываемые пружинные сплавы — заменители токсичной *бериллиевой бронзы*, превосходящие ее по прочности, жаропрочности и коррозионной стойкости, но уступающие по проводимости. Термическая и мех. обработка (*закалка*, холодная прокатка, *отпуск*) повышает твердость таких сплавов до $380-420 \text{ кгс/мм}^2$, предел прочности на растяжение до $130-154 \text{ кгс/мм}^2$, предел упругости до $98-115 \text{ кгс/мм}^2$. Их относительное удлинение снижается до

1,5—2%. Электротехнические сплавы (константан, конпель и др.) применяют для изготовления терморезисторов и компенсационных проводов к ним, реостатов и др.

Лит. см. к ст. Медь сплавы.

А. В. Бобылев.

МЕДНЫЙ ПОРОШОК — мелкие частицы меди различной формы. Широко применение М. п. в промышленности началось в 30-х гг. 20 в. В СССР осн. пром. способом производства М. п. является электролитический. По этому способу в ванну с электролитом погружают пластину из особо чистой меди (анод); катодом служит пластина из черновой меди. В процессе электролиза плотность тока составляет $1400\text{--}1800\text{ а/м}^2$, т-ра электролита $48\text{--}55^\circ\text{С}$, напряжение на ванне $1,2\text{--}1,6\text{ в}$, расход электроэнергии на тонну порошка $1800\text{--}3800\text{ кат/ч}$. Полученный М. п. состоит из меди (99,0—99,5%) с примесями железа, свинца, мышьяка и сурьмы; его насыпная масса $1,2\text{--}2,2\text{ г/см}^3$, размер частиц $45\text{--}75\text{ мкм}$; форма частиц дендритная. Электролитическим способом производят М. п. пяти марок: ПМА и ПМ — порошок нестабилизированный, ПМС-1 и ПМС-2 — порошок стабилизированный, ПМСК — порошок стабилизированный конопаточный. Форма частиц обуславливает хорошую *пресуемость* и *формуемость*, но плохую *текучесть* электролитных порошков. Кроме электролитического способа, применяют автоклавный способ восстановления меди из растворов солей при давлении $4\text{--}20\text{ ат}$ и т-ре $160\text{--}180^\circ\text{С}$ (форма частиц неправильная). Важнейшими особенностями этого способа является высокая удельная производительность, в 20—30 раз превышающая удельную производительность наиболее мощных электролитических ванн, и возможность использовать в качестве сырья рудные концентраты из бедных руд. Кроме того, М. п. получают размолом медной стружки, распылением жидкой меди сжатым воздухом. М. п. применяют в электротехнической и машиностроительной промышленности, в радио- и приборостроении. Из М. п. прессованием и спеканием изготавливают различные электроконтактные изделия. Применяется также прокатка порошка в тонкую ленту, которую

затем спекают (см. *Спеченные материалы*). М. п. выпускают в соответствии с нормативным документом — ГОСТом 4960—68.

Лит.: Федорченко И. М., Андриевский Р. А. Основы порошковой металлургии. К., 1963; Номберг М. И. Производство медного порошка электролитическим способом. М., 1971.

О. С. Ничипоренко.

МЕДЬ (Cuprum), Cu — хим. элемент I группы *периодической системы элементов*; ат. н. 29, ат. м. 63,546. Металл красного цвета. В соединениях проявляет степени окисления +1 и +2. Природная М. состоит из стабильных изотопов ^{63}Cu (69,1%) и ^{65}Cu (30,9%). Получены радиоактивные изотопы ^{53}Cu , ^{59}Cu , ^{60}Cu , ^{61}Cu , ^{62}Cu , ^{64}Cu , ^{66}Cu , ^{67}Cu и ^{68}Cu с периодами полураспада от 0,18 сек до 58,5 ч. М. известна с древнейших времен (6000—7000 лет до н. э.). Содержание М. в земной коре $4,7\cdot 10^{-3}\%$. Известно более 250 медьсодержащих минералов. Из них пром. значение имеют халькопирит (медный колчедан) CuFeS_2 , халькозин (медный блеск) Cu_2S , ковеллин CuS , малахит и азурит. Медь самородная встречается редко. Кристаллическая решетка М. гранецентрированная кубическая с периодом $a = 3,6147\text{ \AA}$. Плотность (т-ра 20°С) $8,94\text{ г/см}^3$. Атомный радиус $1,28\text{ \AA}$; ионные радиусы Cu^+ и Cu^{2+} равны соответственно 0,98 и 0,80 \AA ; $t_{\text{пл}} 1083^\circ\text{С}$; $t_{\text{кип}} 2360^\circ\text{С}$; температурный коэфф. линейного расширения (в интервале т-р $20\text{--}100^\circ\text{С}$) $16,8\cdot 10^{-6}\text{ град}^{-1}$; коэфф. теплопроводности $0,923\text{ кал/см}\cdot\text{сек}\times\text{град}$; теплоемкость (т-ра 20°С) $0,092\text{ кал/г}\cdot\text{град}$; электрическое сопротивление (т-ра 20°С) $1,68\cdot 10^{-6}\text{ ом}\cdot\text{см}$. Электропроводность М. высока (уступает только серебру). Незначительные примеси существенно понижают электропроводность. Модуль норм. упругости $13,2\cdot 10^3\text{ кгс/мм}^2$; модуль сдвига $4,24\cdot 10^3\text{ кгс/мм}^2$; предел прочности на растяжение $22\text{--}24\text{ кгс/мм}^2$; относительное удлинение 60%; $HB=35$. М. химически малоактивна. В сухом воздухе при обычной т-ре почти не изменяется и очень медленно окисля-

ется при наличии влаги и углекислого газа с образованием зеленого налета основного карбоната $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$. При нагревании на воздухе окисляется до черной окиси CuO , а при t -ре 1000°C — до красной закиси Cu_2O . Легко взаимодействует с галогенами, серой и селеном, растворяется в азотной к-те и концентрированной серной к-те, образует комплексные соединения с аммиаком, цианидами и др. Металлическую М. получают главным образом из сульфидных руд, содержащих от 0,5 до 10% Cu . Дроблением, измельчением и флотацией из руды удаляют значительную часть пустой породы, содержащей кварц, силикаты, алюмосиликаты и пирит. Полученный мелкий сульфидный медный концентрат содержит $12 \div 45\% \text{Cu}$, $20 \div 40\% \text{S}$ и $10 \div 35\% \text{Fe}$, а также некоторое количество пустой породы. В процессе получения металлической М. примеси удаляют селективным окислением сульфидов железа, используя различие в сродстве к сере и кислороду у железа и меди. Процесс проводят при высокой t -ре (800 — 1400°C), что сопровождается расплавлением всей шихты, в к-рую вводят флюсы. Во время нагрева и расплавления железо окисляется, образуя шлак. После удаления шлака богатый медью штейн подвергается дальнейшему окислению кислородом вплоть до удаления всего железа и серы. Полученный черновой металл содержит от 97,5 до 99% Cu . Благородные металлы и др. примеси ухудшают электрические св-ва меди. С целью очистки от примесей и извлечения благородных металлов черновую М. подвергают огневому и электролитическому рафинированию с последующей переплавкой катодов в т. н. вайербарсы (бруски). Пирометаллургическое получение черновой М. сводится к обжигу медных концентратов в многоподовых печах или печах кипящего слоя (если содержание меди в концентратах невелико, а серы — значительно), плавлению огарка или концентрата в отражательных печах (до 75% получаемой М. проходит через эту стадию) или др. аппаратах и конвертированию медных штейнов,

осуществляемому продувкой воздуха через расплав в горизонтальных конверторах. Жидкую черновую М. очищают от основной массы примесей в анодных печах, разливают в аноды и подвергают электролитическому рафинированию, после чего катоды переплавляют в индукционных печах, а расплав разливают в вайербарсы. Вайербарсовая М. содержит от 99,0 до 99,95% Cu . Наряду пирометаллургическим развивается гидрометаллургическое получение меди. Высокая тепло- и электропроводность, ковкость, сравнительно высокая прочность на разрыв и коррозионная стойкость обуславливают широкое применение М. в промышленности.

Она служит основным материалом для проводов, кабелей, шин, контактов и др. токопроводящих частей электр. установок. Ее применяют также при изготовлении теплообменников-нагревателей, холодильников, двигателей внутреннего сгорания и др. Широкое применение находят *меди сплавы, латуни, бронзы, медно-никелевые сплавы* и др. М. используют для легирования *алюминия сплавов*, изготовления *медного порошка* и др. материалов.

Кроме того, М. применяют в виде солей для изготовления *минеральных красок, катализаторов* и др. См. также *Медистая сталь, Меднение*.

Лит.: Основы металлургии, т. 1—2. М., 1961—62; Шейн Я. П., Гудима Н. В. Краткий справочник металлурга по цветным металлам. М., 1964; Смирнов В. И. [и др.]. Металлургия меди, никеля и кобальта, ч. 1. М., 1964; Черных Е. Н. Металл-человек-время. М., 1972; Ванюков А. В., Зайцев В. Я. Теория пирометаллургических процессов. М., 1973; Цветные металлы. Свойства. Сортамент. Применение. М., 1973; Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974; Раддл Р. Физическая химия пирометаллургии меди. Пер. с англ. М., 1955; Inorganic chemistry of the transition elements, v. 1. London, 1972.

В. Я. Зайцев.

МЕДЬ САМОРОДНАЯ, Cu — минерал класса самородных металлов. Тонкие смеси самородной меди и *куприта* наз. *купрокупритом*, мышьяковистую медь (до 11,6% As) — *витнеитом*. Иногда самородная медь содержит примеси серебра (серебристая медь с 3—4% Ag), золота (золотистая медь с 2—3% Au), железа

(железистая медь с 2,5% Fe) и др. элементов, образующих с медью *твердые растворы*. Структура координационная, сингония кубическая, вид симметрии гексоктаэдрический. Встречается в виде искаженных кристаллов, вытянутых, укороченных или деформированных, простых и сложных двойников по (111), дендритовидных сростков, тонких пластинок, нитевидных, проволочных образований, конкреций и сплошных масс (до нескольких сотен тонн). Спайность отсутствует (см. *Спайность минералов*). Излом занозистый, крючковатый (см. *Излом минералов*). Плотность 8,5—8,9 г/см³. Твердость 2,5—3, микротвердость 111—143 кгс/мм². Весьма ковкая. Непрозрачна. Цвет в свежем изломе светло-розовый, быстро переходящий в медно-красный, затем в коричневый (см. *Цвет минералов*). В отраженном свете в свежеполированных шлифах цвет ярко-розовый. Блеск металлический (см. *Блеск минералов*). Черта медно-красная, блестящая. Отражательная способность: для зеленых лучей — 61%, для оранжевых — 83, для красных — 89%. Изотропна, $n_{\text{Na}} = 0,641$.

Электропроводность очень высокая — 99,95 (у серебра 100), существенно понижается с увеличением содержания примесей. *Теплопроводность* 748 (у серебра 1000). Легко растворяется в разбавленной азотной к-те и «царской водке». Самородная медь образуется в восстановительной среде при различных геологических процессах. Нередко наблюдается в гидротермально измененных основ-

ных изверженных породах, где могла образоваться в результате разложения медьсодержащих сульфидов. Наиболее часто самородную медь находят в нижних частях зоны окисления, где она является ранним продуктом изменения сульфидных медных минералов, гл. обр. халькозина (Cu_2S). Известны месторождения самородной меди в некоторых осадочных породах (песчаниках, глинах, мергелях) в виде цемента между песчинками, иногда в псевдоморфозах по древесине или в виде конкреций. Наиболее обычные продукты изменения самородной меди — куприт, *малахит*, *азурит*. М. с. — важная составная часть некоторых медных руд, используется для получения меди. См. также *Медь*.

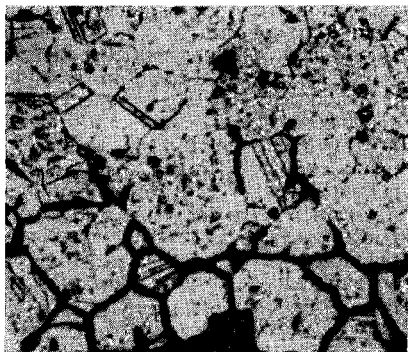
Лит.: Бетехтин А. Г. Медь. В кн.: Минералы СССР, т. 1. М.—Л., 1940; Вернадский В. И. Избранные сочинения, т. 2. Опыт описательной минералогии. М., 1955; Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971; Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. Пер. с нем. М., 1962.

А. А. Ясинская.

МЕЖКРИСТАЛЛИТНАЯ КОРРОЗИЯ. интеркристаллитная коррозия — разрушение границ зерен вследствие электрохимической коррозии металлов. Вызывает потерю прочности и пластичности металлов, приводит к преждевременному разрушению конструкций. М. к. (рис.) подвержены сплавы на основе железа (железо — никель — хром; железо — марганец — никель — хром; железо — хром и др.), никеля (никель — молибден; никель — хром — молибден), алюминия (алюминий — медь; алюминий — магний — кремний) и др. элементов.

М. к. обусловлена пониженной *коррозионной стойкостью* границ зерен (из-за выделения по ним примесей), обеднением этих границ легирующими элементами, возникновением нестойких фаз и пр. Так, причиной М. к. *нержавеющих сталей* служит обеднение границ зерен хромом вследствие выделения на них богатых хромом фаз: карбидов и карбонитридов хрома, хромистого феррита, интерметаллических соединений

Межкристаллитная коррозия стали марки X18H9.



(см. *Металлиды*), напр. *бета-фазы*. Вследствие большей скорости *диффузии* углерода, чем хрома, в образовании карбидов участвует почти весь углерод, а хром — лишь находящийся у границ зерен. Если по границам зерен содержится до 12% Сг, в некоторых средах затрудняется *пассивирование* обедненных участков и облегчается их растворение, что связано с наличием коррозионной пары (пассивное зерно — катод, незапассивированная граница — анод). Подверженность коррозии определяется структурой сплавов, а также условиями, в к-рых она протекает (составом и т-рой среды). Важнейшим фактором является режим их *термической обработки*. Закаленная сталь на границе зерен относительно чиста и коррозии не подвержена. При *отпуске* такой стали появляются отдельные дисперсные выделения карбидов. Наибольшая подверженность коррозии обнаруживается после отпуска при т-ре 450—850° С, вызывающего образование по границам зерен почти сплошной сетки карбидов. Эту термообработку (проводящий, или сенсibiliзирующий отпуск) применяют для определения чувствительности нержавеющей сталей к коррозии. При длительном *нагреве металла* происходит *коагуляция* карбидов и подверженность коррозии уменьшается или исчезает. С увеличением содержания углерода и азота вероятность коррозии в таких сталях возрастает. Достаточно стойки против М. к. стали, содержащие менее 0,02—0,03% С. Самая высокая стойкость стали против межкристаллитной коррозии во всех режимах нагрева достигается при содержании углерода менее 0,009%.

Хром значительно повышает стойкость хромоникелевых сталей против коррозии только после высокотемпературного отпуска, а после низкого отпуска (т-ра 450—550° С) он даже несколько повышает их подверженность коррозии. Вследствие этого в такие стали добавляют более энергичные карбидообразующие элементы (титан, ниобий, тантал), связывающие углерод в прочные карбиды и предотвращающие образование кар-

бидов хрома. Добавка хрома по границам зерен. Молибден несколько повышает стойкость против коррозии хромоникелевых сталей в неокислительных средах, способствуя в то же время образованию бета-фазы, богатой хромом и молибденом. Молибден (2—3%) оказывает отрицательное влияние на сопротивляемость стали коррозии в окислительных средах; добавки его (до 1%) могут оказывать благоприятное влияние на ее сопротивляемость. Стойкость против коррозии в окислительных средах повышает также кремний, а никель и марганец снижают ее. Растягивающие напряжения в стали значительно ускоряют М. к., вызывая межкристаллитное коррозионное растрескивание, а сжимающие напряжения, предотвращающие коррозионное растрескивание, практически не влияют на ее интенсивность. Пластическое деформирование металла перед отпуском уменьшает интенсивность М. к. вследствие выделения фаз по *линиям сдвига* и уменьшения выделения фаз по границам зерен. В большинстве случаев подверженность М. к. снижается с уменьшением размеров зерен. М. к. интенсивно протекает в кислых растворах (напр., в кипящем растворе 160 г медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и 100 см³ серной к-ты в 1 л воды), поэтому их используют для того, чтобы установить подверженность коррозии нержавеющей сталей. Быстрое развитие М. к. вызывают также растворы азотной и фосфорной (и их смеси), муравьиной и уксусной к-т. В сернокислых растворах интенсифицируют М. к. сульфаты железа, меди, роданистого калия и др., в растворах азотной кислоты — ионы фтора, сильные окислители (бихроматы) и др. Возможна также М. к. нержавеющей сталей на тепловых электростанциях высоких и сверхвысоких параметров под воздействием воды и пара. Разновидностью М. к. является *ножевая коррозия*, происходящая на границе сварной шов — осн. металл и проявляющаяся даже в сталях, стабилизированных присадками титана или ниобия. Ножевая коррозия исключительно опасна, поскольку может развиваться с очень большой скоростью (до 45 мм в год). Чтобы избежать ее, в конструкциях применяют низко-

углеродистые стали, прибегают к оптимальным режимам сварки или отжига сварных соединений при $t = 870—1150^\circ \text{C}$. М. к. оценивают по изменению пластичности (испытаниями на загиб), прочности и вязкости, уменьшению массы, изменению звука (простукиванием), электрического сопротивления, изменению частоты и затухания резонансных колебаний образцов, а также просматривая металлографические шлифы. Межкристаллитную коррозию устраняют уменьшением содержания углерода в стали (до 0,03%).

Эффективны легирование сталей стабилизирующими элементами (титаном и ниобием) и стабилизирующий отжиг металла.

Лит.: Погодин В. П., Богоявленский В. Л., Сентюрев В. П. Межкристаллитная коррозия и коррозионное растрескивание нержавеющей сталей в водных средах. М., 1970; Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Коррозия и коррозионностойкие сплавы. М., 1973; Чигал В. Межкристаллитная коррозия нержавеющей сталей. Пер. с чеш. Л., 1969. И. И. Василенко.

МЕЖКРИСТАЛЛИТНЫЕ ГРАНИЦЫ — то же, что и границы зерен.

МЕЛ — осадочная карбонатная горная порода белого цвета. Порода мажущаяся, с землистым изломом, мягкая, слабо сцементированная. При повышении содержания глинистой примеси ($> 10\%$) переходит в меловой мергель, при цементации — в мелоподобный известняк. М., содержащий примесь опала, наз. кремнеземистым. Текстура мелкослоистая, жильчатая, брекчиевидная, часто с ходами илоядов. М. состоит из скелетных остатков ископаемых организмов, порошковатого кальцита и кристалликов кальцита. Среди скелетных остатков обычно преобладают остатки планктонных микроорганизмов — кокколитофориды и фораминиферы. Порошковатый кальцит (20—60%) образует гранулы или угловатые-округлые зерна размером 0,5—2, редко до 10 мкм. Предполагается, что это обломки кокколитов и фораминифер. Кристаллики кальцита (5—10%) обычно выполняют поры и трещинки, все они вторичные, диагенетические. Неастиримый остаток, в к-ром преобладают частицы $< 0,01 \text{ мм}$, сложен зернами терригенного кварца, полевых шпатов, глинистых минералов, гидрослюд, ак-

цессорных минералов, аутигенных цеолитов, барита, глаукогита, опала, гипса, пирита, марказита, гидрокислов железа и др. Встречаются опаловые спикеры губок, панцири диатомей, фосфатные остатки организов; в меловых толщах — конкреции кремней, фосфоритов и остатки микрофауны, ухудшающие качество мела. Плотность 2,70—2,72 г/см³; объемная масса скелета 1,46—1,56 г/см³; пористость около 44%; естественная влажность 30—33%; прочность на сжатие влажной породы 12—20, сухой 40—50 кгс/см²; при полном влагонасыщении прочность снижается до 7 кгс/см². В пром-сти различают М. комовый и молотый. Комовый удобно транспортировать, поэтому его часто размалывают на месте. Применяют для выжигания извести, школьных мелков, в хим. пром-сти. Размер частиц молотого мела $< 10 \text{ мкм}$, отмученного (т. н. технологического) 2—5 мкм и меньше. Его св-ва: небольшая плотность, низкая твердость, природная дисперсность, легкая диспергируемость, малая гигроскопичность, слабая растворимость в воде, способность гидрофобизироваться (см. Гидрофобность), относительно высокие хим. чистота и степень стойкости состава. Молотый М. применяют как пигмент в красках и растворах, для обмазки электродов, для произ-ва цемента, извести, стекла и др. Химический (осажденный) М. получают обработкой гашеной извести углекислотой, размер его частиц около 0,4 мкм.

Лит.: Требования промышленности к качеству минерального сырья. Справочник для геологов, в. 6. Иванов А. И. Мел. М.—Л., 1946; Вушинский Г. И. Литология меловых отложений Днепровско-Донецкой впадины. М., 1954; Требования промышленности к качеству минерального сырья. Справочник для геологов, в. 6. Борзунов В. М. Мел. М., 1962.

Ю. Е. Добрянский.

МЕЛАНТЕРИТ (от греч. *μελάντερος* — более черный), $\text{Fe}[\text{SO}_4] \times \times 7\text{H}_2\text{O}$ — минерал класса сульфатов. Синоним: железный купорос (см. Купоросы). Хим. состав (%): FeO — 25,8; SO_3 — 28,8; H_2O — 45,4. Содержит примеси магния (до 7,45%), меди (до 18,8%), никеля, цинка, иногда марганца. Разности: цинковистый (сом-

майрит), магниевый, медный и марганцовистый. Структура островная, сингония моноклинная, вид симметрии призматический. Встречается в виде волосоподобных, сталактитовых или конкреционных форм, корочек, порошковатых, стекловидных и спиральных агрегатов. Кристаллы короткопризматические с крупными гранями {110} и {001}, а также толстотаблитчатые. Спайность по {001} совершенная и четкая по {110} (см. *Спайность минералов*). Плотность 1,8—1,9 г/см³. Твердость 2—2,5. Хрупкий. Цвет светло-зеленый, редко темно-серый или серовато-черный (см. *Цвет минералов*). Блеск стеклянный (см. *Блеск минералов*). Часто прозрачный. Излом раковистый (см. *Излом минералов*). Растворим в воде. В проходящем свете бесцветен. Двухосный, положительный; $2V = 85^\circ$. Показатели преломления: $n_g = 1,485$; $n_m = 1,478$; $n_p = 1,471$. В природе образуется при окислении пирита, марказита и пирротина колчеданных руд вместе с гипсом, квасцами и др. сульфатами, а также в результате окисления пирита и марказита в углистых и битуминозных сланцах при горении шахтных терриконов. Кристаллизуется из водных растворов соответствующего состава при t -ре до 56°C . Синтезируется воздействием серной кислоты на железо, а также окислением пирита. Применяется в красильном произ-ве, при изготовлении чернил, в кожевенной и химической промышленности.

Лит.: Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., 1961; Лазаренко Е. К. [и др.]. Минералогия Закарпатья. Львов, 1963; Дэна Дж. Д. [и др.]. Система минералогии, т. 2, полугом 1. Пер. с англ. М., 1953. Л. К. Яхонтова.

Химический состав и свойства мельхиоров

Марка сплава	Содержание элементов, %					$D, \text{г/см}^3$	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{град}^{-1}$	$\rho, \text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	$\lambda, \text{ккал/см} \times \text{сек} \times \text{град}$	$\delta_B, \text{кгс/мм}^2$	$\delta, \%$	НВ
	Cu	Ni + Co	Fe	Mn	При- меси								
МНЖМц30-0,8-1	Осно- ва	29—33	0,6—1,0	0,8—1,3	<0,29	8,9	1230	16 0,42	0,089	40	28	70	
МН19	»	18—20	1,0	0,3	<0,27	8,9	1190	16 0,287	0,092	36	35	70	

МЕЛЬХИОР [нем. Melchior, искаженное франц. maille chort, по имени франц. изобретателей Майо (Maillot) и Шорье (Chorier)] — сплав меди с никелем, железом и марганцем. В СССР изготавливают М. марок МНЖМц30-0,8-1 и МН19 (табл.). М. относится к конструкционным медноникелевым сплавам, отличается повышенным мех. св-вами, высокой коррозионной стойкостью в пресной и морской воде, удовлетворительно обрабатывается в горячем и холодном состоянии, у него высокие теплопроводность и электропроводность. В минер. кислотах, особенно в HNO₃, корродирует быстро. В органических к-тах, в щелочи и растворах аммиака корродирует незначительно. При повышенном содержании кремния снижается пластичность сплава; сера, висмут и свинец способствуют разрушению сплава под давлением; углерод увеличивает хрупкость; фосфор и кадмий ухудшают мех. и технологические св-ва сплава. Полуфабрикаты из М. изготавливают в виде лент, труб, прутков и заготовок. М. марки МНЖМц30-0,8-1 стоек в атм. условиях, в среде парового конденсата и наиболее стоек против струевой коррозии. Его применяют в судостроении, в частности для изготовления конденсаторных труб. М. марки МН19 применяют в электровакуумной пром-сти, хим. машиностроении, для изготовления медицинских инструментов, сеток, деталей точной механики, изделий массового потребления — посуды, монет, чеканки. Хим. состав М. регламентирует ГОСТ 492—73.

Лит.: Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М., 1974; Таубкин М. В. [и др.]. Цветные металлы и сплавы. Справочник, т. 1—2. М., 1975. З. А. Климак.

МЕНДЕЛЕВИЙ (Mendelevium; по имени русского химика Д. И. Менделеева), Md — искусственно полученный радиоактивный хим. элемент; ат. н. 101; относится к *актиноидам*. Для М. характерна степень окисления + 3, может иметь и степени окисления + 2 и + 1. Впервые синтезирован и идентифицирован (1955) амер. учеными Г. Сиборгом, А. Гиорсо, Б. Гарвеем, Г. Чоппином и С. Томпсоном в виде изотопа ^{256}Md , считанные атомы к-рого были получены при облучении мишени из изотопа ^{253}Es альфа-частицами. Стабильных изотопов не имеет. Известно 10 изотопов с массовыми числами от 248 до 252 и от 254 до 258. Наиболее долгоживущий — альфа-радиоактивный изотоп ^{258}Md , время жизни к-рого 55 суток.

Лит.: Мясоедов Б. Ф. [и др.]. Аналитическая химия трансулониновых элементов. М., 1972; Михеев Н. [Б. [и др.]. Восстановление менделевия до одновалентного состояния. «Доклады АН СССР», 1973, т. 208, № 5; Хайд Э., Перлман И., Сиборг Г. Ядерные свойства тяжелых элементов, в. 1. Пер. с англ. М., 1967. Г. Н. Флеров.

МЕРГЕЛЬ (нем. Mergel, от лат. marga) — осадочная горная порода глинисто-карбонатного состава. В зависимости от породообразующего карбонатного минерала различают М. известковые и доломитовые, в зависимости от состава некарбонатной части — глинистые, кремнистые, гипсовые, алевроитовые, песчаные и др. М., содержащие 75—80% CaCO_3 , наз. цементными, или *н а т у р а л а м и*. Карбонатная часть М. представлена *кальцитом* или *доломитом*, иногда обоими. Некарбонатная часть М. образована в основном глинистыми минералами (*каолинитом*, *гидрослюдами*, *монтмориллонитом*) и кремнеземом, к-рые, как правило, равномерно распределяются среди *карбонатов*. Примеси: обломочные зерна *кварца*, *полевых шпатов* и аксессуарных минералов. Из аутигенных минералов наблюдаются *глаукоцит*, *барит*, *цеолиты*, *пирит*, *марказит*; в доломитовых М. нередко включения кристалликов *гипса*, *ангидрита*, *целестина* и *флюорита*. Хим. состав М. (%): SiO_2 — 8,02 ÷ 53,32; Al_2O_3 — 1,52 ÷ 9,92; Fe_2O_3 — 0,44 ÷ 3,30; MgO — 0,26 ÷ 1,95, CaO — 18,18 ÷ 50,44; SO_3 — 0,05 ÷ 0,75; потери при прокаливании 18,18 — 39,46%.

Для М. характерны массивные, слоистые, трещиноватые, брекчиевидные и микропористые текстуры. Наиболее распространенные структуры — *целитоморфные* (с размером частиц 0,002—0,01 мм), *алевропелитоморфные*, *сгустковые*, *нодулярные* и *биоморфные* (водорослевые и раковинные). М. — породы преим. мягкие, мажущиеся, с землистым изломом. Легко поглощают воду, при выветривании часто превращаются в рыхлую массу. Обычно окрашены в светлые тона серого цвета с зеленоватым, розоватым и желтоватым оттенком. *Плотность* 1,84—2,74 г/см³; *объемная масса* 2,26—2,63 г/см³; *пористость* 2,9—8,2%; *коэфф. теплопроводности* $4,9 \cdot 10^3$ кал/см·сек·град; *удельное электрическое сопротивление* $2 \cdot 10^4$ ом·м. М. встречаются во всех геологических системах палеозоя, мезозоя и третичного периода. Обязательным условием их образования является одновременное осаждение глинистого и карбонатного материала. М. образуются в морских бассейнах норм. солености и в пресноводных озерах. Осн. область применения — *произ-во вяжущих веществ: портландцемента и романце-мента*.

Лит.: Справочное руководство по петрографии осадочных пород, т. 2. Л., 1958; Атлас текстур и структур осадочных горных пород, ч. 2. Карбонатные породы. М., 1969; Виноградов Б. Н. Сырьевая база промышленности вяжущих веществ СССР. М., 1971.

И. М. Афанасьева.

МЕТАЛЛИДЫ (от греч. *μεταλλεύω* — металл и *εἶδος* — вид, род) — двойные или более сложные соединения металлов с металлами (интерметаллические соединения) или металлов с неметаллами, характеризующиеся в большинстве своем преим. металлическим типом химической связи. Отличаются упорядоченным или частично упорядоченным расположением атомов в кристаллической решетке. Состав М. часто не подчиняется правилам валентности и может быть как постоянным, так и переменным. Диаграммы состав — свойство в области гомогенности М. могут иметь сингулярную точку, отвечающую постоянному, обычно простому отношению атомов, или не

иметь ее. Соответственно М. подразделяют на дальтони́ды (напр., Ni_3Al , AuCu , MgAg , Mg_3Cd) и бертолли́ды (напр., *гамма-фаза* в системе висмут — таллий, *эпсилон-фаза* в системе железо — сурьма, *бета-фаза* в системе свинец — таллий). На основе М. могут образовываться *твердые растворы* (фазы переменного состава) с упорядоченным или частично упорядоченным расположением атомов. М. либо кристаллизуются из расплава с открытым или закрытым максимумом плавления, либо образуются в твердом состоянии в результате различных реакций. Существование М. в системе, способ их образования и состав обусловлены металлохимическими св-вами элементов: положением компонентов в периодической системе элементов (электронным строением), их атомными радиусами, электроотрицательностью, валентностью, ионизационным потенциалом. При большом различии этих св-в М. образуются, как правило, из расплава. Их состав иногда отвечает правилам валентности (напр., Mg_2Sn), они устойчивы в широком интервале т-р, характеризуются узкими областями гомогенности, нередко неметаллическим характером хим. связи. Так, в ряду соединений магния с элементами IV*в* подгруппы Mg_2Pb — Mg_2Sn — Mg_2Ge — Mg_2Si по мере нарастания неметаллических св-в второго компонента хим. связь изменяется от преим. металлической у Mg_2Pb до ковалентно-ионной у Mg_2Si . Если хим. св-ва компонентов близки, а разница атомных радиусов и электроотрицательности мала, из расплава кристаллизуются твердые растворы, при охлаждении к-рых могут образовываться М. с упорядоченным распределением атомов. Макс. степень упорядоченности отвечает стехиометрическому составу соединений (напр., A_4B , A_3B , A_2B , AB). Такие соединения в честь их первооткрывателя получили название соединений Курнакова. Среди них преобладают соединения типа дальтони́дов. Соединения Курнакова довольно распространены (напр., FeCo , Ni_3Fe , Ni_3V , MnNi , Fe_3Al , Ti_3Al). Для них характерны структуры типа CsCl , Cu_3Au ,

CuAu , BiF_3 и Mg_3Cd . Соединения Курнакова обладают широкими областями гомогенности, что косвенно свидетельствует о металлическом характере хим. связи в них. Они отличаются более высокими *твердостью*, *мех. прочностью*, хим. стойкостью, чем твердые растворы (из к-рых образовались) и исходные компоненты. Образование М. из расплавов может происходить и при нек-рой близости металлохимических св-в, напр. у электронных соединений, образующих фазы с широкими областями гомогенности, свидетельствующими о металлическом характере хим. связи. Электронные соединения, или фазы Юм-Розери, образуются в сплавах меди, серебра, золота и нек-рых металлов переходных групп с металлами I—V*в* подгрупп. Главным фактором, определяющим их состав и строение, является электронная концентрация, т. е. отношение числа валентных электронов к числу атомов в решетке. В области значений электронной концентрации вблизи 3/2 образуются М. с кристаллической структурой типа CsCl , бета-марганца или с гексагональной плотноупакованной структурой; вблизи 21/13 — М. со сложной объемноцентрированной кубической структурой типа Cu_5Zn_8 или примитивной типа Cu_9Al_4 (гамма-латунные структуры); вблизи 7/4 — М. с гексагональной плотноупакованной структурой (эпсилон-фазы). Среди электронных соединений встречаются как бертоллиды (бета-латунь в системе медь — цинк), так и дальтони́ды (MgAg). Если условия изменяются, возможны их взаимные переходы ($\beta \rightarrow \beta'$ CuZn). К электронным соединениям относятся *сигма-фазы*, образующиеся в сплавах переходных металлов V—VII*а* подгрупп с металлами VIII*а* подгруппы и имеющие частично или полностью упорядоченное расположение атомов в решетке типа бета-уран. Они образуются как при кристаллизации из жидкого состояния, так и в твердом состоянии, обладают широкими областями гомогенности и могут быть дальтони́дами (напр., FeV) или бертоллидами (напр., в системе железо — хром). Самым многочисленным семейством М. являются *Лавеса фазы* — соединения типа MgCu_2 , MgZn_2 и MgNi_2 . Они кристаллизуются из жидкого

лиги твердого состояния, характеризуются, как правило, узкими областями гомогенности, им присущ *полиморфизм*. При образовании фаз Лавеса соотношение атомных радиусов компонентов должно удовлетворять условию $r_A/r_B \sim 1,22$. Структуры фаз Лавеса являются плотноупакованными, с координационными числами 16 и 12; межатомные расстояния в них короче, чем в структурах взаимодействующих металлов. Мн. металлы переходных групп и меди образуют с элементами IV—VI_s подгруппы М. с гексагональной структурой арсенида никеля NiAs. Нек-рые из них — полупроводники, другие имеют металлические св-ва и образуют фазы с широкими областями гомогенности бертоллидного (напр., в системах никель — висмут, железо — сурьма, кобальт — сурьма) или дальноидного (напр., NiSb) типа. При образовании *гидридов*, *карбидов*, *нитридов* и субоксидов переходных металлов (см. *Внедрения фазы*) решающее значение имеет размерный фактор (правило Хэгга). При $r_X/r_B \leq 0,59$ (r_X — радиус неметалла; r_B — радиус металлического атома) атомы металла образуют типичную металлическую структуру, а атомы неметалла внедрены в промежутки между ними. В зависимости от положения металлов в периодической системе элементов в гидридах преобладает металлическая (гидриды переходных металлов), ковалентная (гидриды металлов I—V_s подгрупп) или ионная (гидриды металлов I—II_a подгрупп) связь. С увеличением содержания водорода в гидридах повышается доля ковалентной связи. Примерно такая же закономерность изменения типа хим. связи наблюдается у карбидов и нитридов. Фазы внедрения обладают высокими *т-рой плавления*, *твердостью* и *электропроводностью*; их называют металлоподобными *тугоплавкими соединениями*. К тугоплавким М. относятся также *силициды* и *германиды*, не являющиеся фазами внедрения и кристаллизующиеся в сложные кристаллические структуры. Наряду с ковалентной связью между атомами кремния в силицидах существуют и металлические связи, о чем свидетельствуют явно выраженные металлические св-ва большинства

силицидов. М. и сплавы на их основе обладают особыми физико-хим., мех. и другими св-вами и превосходят в этом отношении *чистые металлы* и сплавы. М. используют для *упрочнения* сплавов и придания им особых св-в, в качестве *сверхпроводящих материалов* — Nb₃Sn, V₃Ga, Nb₃(Al, Ge), V₃Si и др., как *полупроводниковые материалы* (InSb, AlSb, ZnSb, InAs, TiO и др.), твердые и *сверхтвердые материалы* (TiC, VC, WC и др.), *жаропрочные материалы* и *жаростойкие материалы*, *защитные покрытия* тугоплавких металлов (Ni₃Al, Ni₃Nb, Ti₃Al, MoSi₂ и др.), *магнитные материалы* (Cu₂MnAl, SmCo₅, Cu₂MnSn, Fe₃Al, Fe₃Ni и др.), *коррозионностойкие материалы* (Ti₃O, HfB₂, TaB₂ и др.). Перспективно использование уникальных св-в звукопоглощения и *памяти формы* *эффекта никелида титана* (TiNi).

Лит.: Курнаков Н. С. Собрание избранных работ, т. 2. Л.—М., 1939; Агеев Н. В. Химия металлических сплавов. М.—Л., 1941; Белов Н. В. Структура ионных кристаллов и металлических фаз. М., 1947; Макаров Е. С. Строение твердых фаз с переменным числом атомов в элементарной ячейке. М., 1947; Кривоглаз М. А., Смирнов А. А. Теория упорядочивающихся сплавов. М., 1958; Самсонов Г. В. Тугоплавкие соединения. М., 1963; Корнилов И. И. Металлиды и взаимодействие между ними. М., 1964; Корнилов И. И. [и др.] Металлохимические свойства элементов периодической системы. М., 1966; Теслюк М. Ю. Металлические соединения со структурами фаз Лавеса. М., 1969; Стрессин, свойства, применение металлов. М., 1974.

[И. И. Корнилов,] Н. М. Матвеева.

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ — создание на поверхности изделий одного или нескольких слоев металла. Толщина металлизационного покрытия составляет от сотых долей микрометра до (обычно) 40—50 мкм, реже до сотен микрометров и даже до нескольких миллиметров; его структура преим. поликристаллическая. По взаимодействию металлизированной поверхности (основы) с наносимым металлом различают М., при к-рой сцепленные покрытия с основой имеет чисто адгезионный характер, и М., при к-рой сцепление покрытия с основой достигается силами металлической связи. По технологическому призна-

ку различают М. гальваническую, диффузионную, химическую, газотермическую, вакуумную, ионно-плазменную, газофазную (химикотермическую) и детонационную. Г а л ь в а н и ч е с к а я (наиболее распространенная) М. (электрохим. осаждение металла из раствора его соли под действием внешнего источника тока) позволяет наносить почти все металлы и некоторые сплавы (особенно цинк, кадмий, медь, никель, хром, олово, серебро, золото и многослойные покрытия типа медь — никель — хром) на любые электропроводящие материалы (см. *Золочение*, *Кадмирование*, *Меднение*, *Никелирование*, *Серебрение*, *Цинкование*). Адгезия достигает $\approx 150 \text{ кгс/см}^2$. Физико-мех. св-вами *гальванических покрытий* можно управлять, изменяя условия осаждения. Ограниченно применяют также М. электрофоретическую (см. *Электрофоретические покрытия*) и контактную. Для контактной М. вместо внешнего источника тока используют гальваническую пару из покрываемого металла и металла вспомогательного, более электроотрицательного. При д и ф ф у з и о н н о й М. изделие нагревают и выдерживают в контакте с наносимым металлом, находящимся в твердой (порошок или покрытие, предварительно нанесенное другим способом), в жидкой (расплав, содержащий диффундирующий металл в свободном или химически связанном виде), в паровой (насыщенный пар диффундирующего металла) или в газовой (пары легколетучего соединения наносимого металла) фазе. Распространены также термомех. (см. *Плакирование*) и контактно-мех. варианты способа (во втором варианте наносимый металл втирают в поверхностные слои изделий, а *диффузия* обеспечивается локальным повышением т-ры вследствие трения). Диффузионную М. применяют для *лужения*, *цинкования*, *алитирования* или *кадмирования* листового проката, нанесения на изделия из ниобия, молибдена, никеля, железа и их сплавов покрытий на основе гл. обр. алюминия и хрома (см. *Хромирование*), для увеличения жаростойкости (см.

Борирование, *Бериллизация*, *Силицирование*), а также для повышения адгезии покрытий, нанесенных другими способами. *Диффузионные покрытия* отличаются высокой плотностью, отсутствием *пористости* и адгезией, близкой к пределу прочности металла на разрыв. Х и м и ч е с к а я М., основанная на восстановлении металлов из растворов их солей, применяется ограниченно, гл. обр. для серебрения стекла (качество покрытий высокое, адгезия слабая). Г а з о т е р м и ч е с к а я М. заключается в пульверизации расплавленного металла газовой струей; плавление и нагрев металла осуществляют пламенем (см. *Газопламенные покрытия*), плазмой электр. дуги (см. *Плазменные покрытия*) или перем. током высокой частоты. Адгезия покрытий средняя, пористость высокая. В а к у у м н а я М. основана на конденсации паров металла, термически испаряемого в высоком вакууме. Способ универсален и используется для покрытия любых изделий (довольно сложной формы и больших габаритов) любыми металлами, включая и нанесение многослойных покрытий. Св-вами *вакуумных покрытий* можно управлять, изменяя условия осаждения. Адгезия на металлах до $\approx 400 \text{ кгс/см}^2$, на стеклах до $\approx 200 \text{ кгс/см}^2$ и может быть значительно увеличена сообщением металлизированной поверхности ультразвуковых колебаний. И о н н о - п л а з м е н н а я М. (катодная и плазменная) заключается в распылении металла в низкотемпературной плазме тлеющего или дугового разряда. Сочетает достоинства гальванического (высокая экономичность), вакуумного (высокое качество покрытий, универсальность) и диффузионного (высокая адгезия) способов. Пром. использование ионно-плазменного распыления расширяется, но его трудно применять для нанесения покрытий на сложнопрофильные и крупногабаритные изделия. Г а з о ф а з н а я М. заключается в осаждении металла на нагретую поверхность в процессе разложения его летучих соединений. Позволяет металлизировать любые материалы любыми металлами, допуская покрытие изделий любой формы и больших габаритов. Ограничивает применение этого способа

необходимость в карбонилах, карбонил-хлоридах и др. высокотоксичных пожаро- или взрывоопасных соединениях. Детонационная М. осуществляется с помощью спец. «пушек», в камере к-рых во взрывной смеси распыляется порошок металла и возбуждается детонационная волна. Способ перспективен для жаростойких покрытий, износостойких покрытий и особенно для покрытий, стойких к ударным нагрузкам. По некоторым физико-мех. характеристикам детонационные покрытия превосходят даже газофазные покрытия. М. применяют для создания декоративных, антикоррозионных, защитных, герметизирующих, износостойких, антифрикционных, оптических, электропроводящих и многоцелевых покрытий. Для получения декоративных покрытий на металлах используют гл. обр. никель и хром толщиной 5—15 мкм, для покрытий на стекле и керамике — серебро толщиной ≈ 3 —5 мкм (см. также Декоративные покрытия). Перспективно нанесение беспористых, достаточно пластичных антикоррозионных покрытий с высокой адгезией газофазным способом. Толщина их значительно меньше, чем покрытий, полученных др. способами (см. также Антикоррозионные покрытия). Защитные и герметизирующие покрытия (тонкие пленки золота, алюминия, свинца и др. металлов, практически непроницаемые для кислорода, водорода, азота, сероводорода, сернистого газа, окислов азота и др. газов) применяют для защиты изделий от высокотемпературной газовой коррозии, для герметизации уплотнений и швов (см. также Защитные покрытия). Износостойкие покрытия получают, напр., газотермическим напылением с последующим диффузионным отжигом (см. также Износостойкие покрытия). Антифрикционные покрытия (см. Антифрикционные материалы) в качестве твердой смазки из золота или покрытий на основе псевдосплавов наносят газотермическим напылением, диффузионным способом для восстановления изношенных деталей (гл. обр. из стали, толщиной до нескольких миллиметров). Оптические покрытия (из алюминия, серебра, меди, золота, родия и др. металлов) применяют для созда-

ния поверхностей с высокой степенью отражения (см. также Оптические покрытия). Электропроводящие покрытия (из меди, алюминия, никеля, серебра или золота толщиной ≈ 1 мкм и более) обеспечивают стабильную высокую поверхностную проводимость изделий. Многоцелевые покрытия обладают комплексом различных св-в, напр. высокой отражательной способностью и высокой коррозионной стойкостью. М. применяют в электро- и радиотехнике, оптике, ракетной технике, автомобиле-, судном самолетостроении и др.

Лит.: Темкина Б. Я. Прогрессивная технология нанесения гальванических и химических покрытий. М., 1962; Разуваев Г. А. [и др.]. Металлоорганические соединения в электронике. М., 1972; Сыркин В. Г. Новые металлургические пленки и покрытия. М., 1972; Самсонов Г. В., Эпик А. П. Тугоплавкие покрытия. М., 1973; Соин В. И. Газотермическое напыление материалов в машиностроении. М., 1973; Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. М., 1974; Холланд Л. Нанесение тонких пленок в вакууме. Пер. с англ. М.—Л., 1963; Високотемпературные неорганические покрытия. Пер. с англ. М., 1968; Берри Р., Холл П., Гаррис М. Тонкопленочная технология. Пер. с англ. М., 1972.

Г. В. Жуков, В. П. Никитский.

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОРОШКИ — частицы металла (сплава), представляющие собой кристаллические зерна или конгломераты кристаллитов. Эти частицы бывают пористыми и беспористыми. Различают М. п. из алюминия (см. Алюминиевый порошок), бронзы (см. Бронзовый порошок), вольфрама (см. Вольфрамовый порошок), железа (см. Железный порошок), кобальта (см. Кобальтовый порошок), кремния (см. Кремниевый порошок), латуни (см. Латунный порошок), марганца (см. Марганцевый порошок), меди (см. Медный порошок), молибдена (см. Молибденовый порошок), никеля (см. Никелевый порошок), ниобия (см. Ниобиевый порошок), олова (см. Оловянный порошок), рения (см. Ренийевый порошок), свинца (см. Свинцовый порошок), серебра (см. Серебряный порошок), тантала (см. Танталовый порошок), титана (см. Титановый порошок), хрома (см. Хромовый порошок), цинка (см. Цинковый порошок) и их сплавов. Для получения М. п. приме-

няют методы восстановления, диффузионного насыщения, электролитический, карбонильный, распыления жидкого металла и механического измельчения. Метод восстановления используют для получения порошков легко- и трудновосстанавливаемых металлов. При получении порошков легковосстанавливаемых металлов (железа, меди, вольфрама, никеля, молибдена, кобальта) и сплавов из окислов этих металлов или смесей этих окислов восстановителями служат углерод (сажа, древесный уголь, мелкий антрацит или кокс) и газы (водород, эндогаз, диссоциированный аммиак, конвертированный, генераторный и природный газы). Если осуществляется комбинированное восстановление, шихту (смесь окислов металла и твердого восстановителя) применяют в форме порошка или брикетов. Пористую губку восстановленного металла превращают в порошок мех. измельчением. Для получения железных порошков высокой чистоты (более 99,9%) железорудный концентрат восстанавливают с добавкой 10—15% кальцинированной соды (химико-металлургический содовый метод). Чтобы получить чистый железный порошок, железосодержащий материал обрабатывают соляной кислотой, превращая его в *хлориды* железа, которые затем восстанавливают водородом до железа (химико-металлургический хлоридный метод). Для получения порошков трудновосстанавливаемых металлов (титана, хрома, ванадия) и сплавов (*нихрома, стеллита, коррозионностойких сталей*) в качестве восстановителей используют металлы (натрий, кальций, алюминий), обладающие большим сродством к кислороду, чем восстанавливаемый металл, а также *гидриды* металлов-восстановителей. Чаще всего восстановителем служит гидрид кальция, поскольку образовавшиеся в процессе восстановления окислы кальция сравнительно легко удалить, обрабатывая спек последовательно водой и разбавленной соляной кислотой (метод гидриднокальциевого восстановления). Разновидностью метода восстановления является автоклавный ме-

тод, заключающийся в восстановлении меди из раствора аммиачной комплексной соли водородом при t -ре 170—200° С и давлении 25 *атм*. Этот метод перспективен в произ-ве недорогих медных порошков. Метод диффузионного насыщения используют для получения порошков сплавов на основе железа, никеля и молибдена, легированных трудновосстанавливаемыми металлами (хромом, титаном, кремнием, алюминием и марганцем). Этот метод применяют и для получения порошков латуни или железоз—латуни. Наиболее совершенной его разновидностью является метод диффузионного насыщения из точечных источников, заключающийся в том, что источники насыщения (хром, титан, кремний и марганец) и источники хлористого водорода (галогениды, напр. NH_4Cl) распределяются равномерно в толще порошка основы (железа, железа — никеля, железа — вольфрама, железа — никеля — вольфрама и др.), чем достигается высокая экономичность расходования легирующих элементов и равномерное распределение их в порошке сплава. По этому способу *легирование* происходит в результате переноса хим. элементов с поверхности одних порошков на поверхности других в виде галогенидов металлов, образующихся при нагреве контейнера с порошковой смесью. Электролитический метод, обеспечивающий получение порошков металлов и сплавов высокой чистоты, заключается в выделении порошков электролизом водных растворов или расплавленных солей соответствующих металлов. Электролизом водных растворов получают порошки меди, серебра, железа, никеля, цинка, кадмия, мышьяка, сурьмы, хрома, свинца и олова и сплавов медь — сурьма и железо — никель, электролизом расплавленных солей — порошки титана, тантала, ниобия, тория, железа, ванадия и урана. Карбонильный метод, заключающийся в термическом разложении карбонилов металлов, используют для получения порошков железа (см. *Железо карбонильное*), никеля, кобальта, железа — никеля, никеля — алюминия и железа — алюминия. По этому методу при t -ре 150—200° С и давлении 150—200 *атм* происходят соединение окиси угле-

рода и соответствующего металла и образование карбонила металла, напр. $\text{Fe}(\text{CO})_5$, а затем при т-ре 250—350° С и нормальном давлении происходит термическое разложение газобразного карбонила с выделением высокодисперсных сферических частиц металла и окиси углерода. Метод распыления жидкого металла струей газа или воды используют для получения порошков чугуна, углеродистой и коррозионностойкой стали, палладия, сурьмы, алюминия, никеля, меди, бронзы, латуни и *монель-металла*. Этот метод является основным в производстве сферических порошков, используемых для изготовления фильтров. Чтобы восстановить окислы на поверхности частиц и улучшить технологические характеристики, распыленные порошки отжигают в восстановительной среде. Совмещая в одном цикле отжига восстановление и обезуглероживание распыленных порошков чугуна или стали, получают железный порошок. Метод распыления используют для производства порошков высоколегированных сплавов (напр., *быстрорежущих сталей*), если распыляющим реагентом служит инертный газ. Метод мех. измельчения используют чаще всего как промежуточный этап других процессов: для размала в порошок пористой металлической губки в методах восстановления, диффузионного насыщения и электролитическом, для размала в порошок отходов чугуна и стружки при производстве чугуна порошка, используемого как непосредственно, так и в качестве сырья при производстве железного порошка гидромеханическим или железорудным методом. Для производства ультратонких порошков (с размерами частиц 0,1—0,01 мкм) используют методы плазменного распыления; электроэрозионный, в котором дуговой разряд стимулирует интенсивное испарение металла с образованием высокодисперсной металлической пыли; термический, основанный на совместной конденсации паров металлов и дисперсной среды; карбонильный с использованием органических сред; механический с использованием жидкой среды и поверхностно-активных веществ. От метода получения порошков зависят хим. и *гранулометри-*

ческий состав, форма и структура частиц, их удельная поверхность, пикнометрическая *плотность*, состояние материала частиц, насыпная плотность, плотность утряски, *текучесть* и *прессуемость*. Хим. состав и соответствующие св-ва порошков определяются содержанием осн. металла, примесей, загрязнений и газов. Частицы порошков, полученных восстановлением, имеют губчатую форму с большим количеством пор, частицы электролитических порошков — форму *дендритов*, карбонильных порошков — сферическую форму, частицы порошков, размолотых в шаровых мельницах, — осколочную, размолотых в вихревых мельницах — дискообразную (чешуйчатую) форму. У распыленных порошков форма частиц — от вытянутой осколочной до сферической. Поры внутри частиц бывают замкнутыми или сообщающимися; макроскопическими, микроскопическими и субмикроскопическими. Помимо этих пор, в свободно насыпанном порошке находятся межчастичные поры, суммарный объем которых составляет 50—80% его объема. Форму частиц изучают визуально или фотографически, как правило, в проходящем свете. Микроструктуру частиц исследуют в отраженном свете с помощью металлографического микроскопа (см. *Металлографический анализ*). Образцы готовят, смешивая пробу порошка с полимеризующейся связкой. Затвердевшие после полимеризации образцы шлифуют, полируют и протравливают теми же реактивами, что и шлифы соответствующего металла. С формой и размерами частиц тесно связана удельная поверхность — отношение площади поверхности частиц к их массе. Величина удельной поверхности имеет особое значение для оценки взаимодействия микронных и субмикронных порошков, используемых в различного рода гетерогенных процессах. Для измерения удельной поверхности используют как прямые (геометрические, адсорбционные), так и косвенные (параметрические, расчетные, а также основанные на измерении проницаемости) методы. Пикнометрическую плотность порошка измеряют

при помощи жидкостных пикнометров — мерных сосудов известного объема, заполняемых жидкостью, хорошо смачивающей порошок. Более удобны газовые пикнометры, дающие высокую точность измерения ($\pm 0,03 \text{ см}^3$). В газовом пикнометре наполнителем служит чистый инертный газ, не адсорбируемый порошком (напр., гелий), реже — воздух (при использовании воздуха понижается точность измерения). Пикнометрическая плотность несколько отличается от рентгенографической вследствие наличия в частицах закрытых пор, окислов и газов. Состояние материала частиц связано с обработкой порошка, напр. с наклепом после размола, *отжигом*. Насыпная плотность — масса единицы объема свободно насыпанного порошка — зависит от плотности вещества, размеров, формы и плотности укладки частиц, обуславливая расчетную высоту пресс-форм. При объемном дозировании стабильность размеров и плотности спрессованных из порошка заготовок тесно связана со стабильностью насыпной плотности порошка. Определяют насыпную плотность с помощью волюмометров (см. *Волюмометрический анализ*). Плотность утряски — насыпная плотность, измераемая после утряски в стандартных условиях насыпанной в мерный цилиндр навески порошка (10—50 г) и после достижения в этих же условиях постоянства объема насыпанного порошка. В зависимости от размеров, формы и шероховатости частиц плотность утряски может превышать насыпную плотность на 20—50%. Плотность утряски используют при расчете пресс-форм, снабженных вибровстряхивателями. Текучесть порошка — скорость истечения навески порошка из отверстия конической воронки с определенным диаметром выходного отверстия — оказывает влияние на размеры и конструктивное оформление пресс-форм, бункеров и дозаторов порошка, имеет особое значение при автоматическом прессовании. Прессуемость порошка определяется уплотняемостью (зависимостью плотности спрессованного из порошка стандартного брикета от давления

прессования) и *формуемостью* (интервалом плотностей, в котором у извлеченного из пресс-формы стандартного порошкового брикета нет разрушений). В практике производства порошков и изделий из них большое внимание уделяется разработке режимов изготовления порошков высокой прессуемости. Использование таких порошков в производстве плотных конструкционных изделий весьма экономично, поскольку позволяет заменить многократное прессование — спекание однократным, сокращая вдвое количество эксплуатируемых пресс-форм. М. п. технической чистоты применяют для производства машиностроительных изделий (методами порошковой металлургии), проката, порошковой проволоки и сварочных электродов, в качестве катализаторов и восстановителей. Порошки высокой чистоты, получаемые электролитическим, химико-металлургическим и карбонильным методами, используют для изготовления деталей электро- и радиотехнической аппаратуры. Карбонильные железные порошки применяют для изготовления *магнитодиэлектрических материалов*. Железные порошки, полученные химико-металлургическим методом и содержащие менее 0,1% примесей, а также карбонильные железные порошки после глубокой очистки от углерода, азота и кислорода в водородной или в вакууме применяют для создания магнитно-мягких *прецизионных сплавов*.

Лит.: Самсонов Г. В., Плоткин С. Я. Производство железного порошка. М., 1957; Велозерский Н. А. Карбонилы металлов. М., 1958; Аксенов Г. И. Основы порошковой металлургии. Куйбышев, 1962; Раковский В. С. Основы порошковой металлургии. М., 1962; Федорченко И. М., Андреевский Р. А. Основы порошковой металлургии. К., 1963; Зеликман А. Н., Меерсон Г. А. Металлургия редких металлов. М., 1973; Айзенкольд Ф. А. Порошковая металлургия. Пер. с нем. М., 1959; Джонс В. Д. Основы порошковой металлургии, ч. 1. Пер. с англ. М., 1964.

А. Ф. Журняк, И. Д. Радомыслский.

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПУДРЫ — окисленные с поверхности частицы тонкого размола *металлических порошков* или сплавов. В пром. масштабе используются с 30-х гг. 20 в. Наибольшее применение нашли алюминиевые и бронзовые пудры. Различают два осн. метода размола

порошков (или отходов фольги) до чешуек толщиной 1 мкм и менее: сухой и мокрый. Сухой размолом осуществляют в шаровых мельницах закрытого типа с добавками 0,5—2,5% стеарина при непрерывной циркуляции инертного газа (азота), содержащего небольшое количество кислорода (от 2 до 8%). Если кислорода менее 2%, недостаточно окисленная в процессе измельчения пудра (напр., алюминиевая) при контакте с воздухом может воспламениться. При содержании кислорода более 8% возникает опасность взрыва в процессе измельчения. Для мокрого размолва используют такие же шаровые мельницы, вводя воду, спирт или др. жидкости. Основными свойствами, которыми должны обладать М. п., используемые в покрытиях, являются всплываемость и кроющая способность на воде. Под всплываемостью понимают способность лепесткообразных металлических частиц удерживаться на поверхности лаков в виде плотного гладкого зеркального слоя. Есть также невсплывающие пудры, которые находят спец. применение. Показатель кроющей способности (площадь покрытия воды) характеризует пудру с точки зрения укрывистости. Чем тоньше пудра, тем выше значение этого показателя и тем меньше расход пудры при нанесении покрытий. Для производства пористого бетона выпускают спец. пудру, обладающую гидрофильными (см. *Гидрофильность*) свойствами. Бронзовые пудры (золотистая бронза) представляют собой лепесткообразные или чешуйчатые частицы алюминия с $5 \div 30\%$ Zn. Если динка содержится немного, пудра приобретает красноватый оттенок, при высоком его содержании — зеленовато-золотистый. Все-го такие пудры могут обеспечить более 40 оттенков. Для производства бронзовых пудр, как и алюминевых, используют шаровые мельницы. Исходный сплав диспергируют в гранулы литьем на вращающийся диск или др. способом, затем их измельчают. Применяют также стружку, полученную фрезерованием слитка сплава. Бронзовые пудры используют гл. обр. в качестве красящего пигмента в лакокрасочной и полиграфической промышленности. М.

п. регламентируют ГОСТы 5494—71 и 10096—62. См. также *Алюминиевая пудра*.

Лит.: Белецкий М. С. Физические основы производства высококачественной алюминиевой пудры для красок. М., 1959; Теплопрочный материал из спеченной алюминиевой пудры (САП). М., 1961; Технология производства изделий из ячеистых бетонов в СССР и за рубежом (Обзор). М., 1986; Состояние и направления развития производства порошков алюминия и магния. Л., 1971.

В. Г. Гопиенко, А. И. Литвинцев.

МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО — топливо на основе металлических или металлосодержащих горючих с высокой теплотворной способностью. Впервые создано в 20-х гг. в СССР. Различают М. т. твердое и жидкое; одно- и двухкомпонентное; самовоспламеняющееся и несамовоспламеняющееся. М. т. содержит легкие металлы (напр., бериллий, бор, алюминий, магний, табл. с. 802) в виде порошка или хим. соединений, а также высокоэффективные окислители — высококипящие (напр., перекись водорода) и низкипящие (кислород, фтор и др.). М. т. — топливо для ракетных двигателей; в камеру сгорания его вводят в виде смесей тонкодисперсных порошков или суспензий *металлических порошков* в углеродных и др. органических веществах, в виде жидких металлоорганических и водородных соединений металлов, а также желеобразных жидких горючих, содержащих *гидриды* легких металлов. Жидкий металл с этой целью расплюют или испаряют. Горение М. т. в ракетных двигателях представляет собой сложный процесс гетерогенного воспламенения и последующего сгорания металлических частиц с образованием газообразных и конденсированных компонентов продуктов реакции. В камере сгорания и реактивном сопле могут одновременно происходить хим. реакции горения или рекомбинации, конденсация продуктов сгорания, в сопле — формирование двухфазного потока. Специфические особенности горения металлов обусловлены образованием их окислов, обладающих большой теплотой испарения и разложения. Предельной т-рой пла-

ЛИЗ — анализ *микроструктуры металла* металлографическим микроскопом с использованием отраженного света. Применяется с середины 19 в. Перед проведением анализа из исследуемого металла готовят металлографический шлиф: вырезают, шлифуют, полируют и травят образец таким образом, чтобы не внести искажений в структуру вследствие мех. или термического воздействия. Затем шлиф исследу-

мени горения М. т. обычно является т-ра кипения образующихся окислов. Воспламенение металлов начинается с медленных реакций окисления, протекающих на поверхности металла или окисла. Последующие стадии горения продолжаются на поверхности обычно жидкого окисла, покрывающего металл, на поверхности металла или внутри слоя окис-

Теплотворная способность металлических топлив

Металл	ρ , г/см ³	Объемная теплотворная способность (максимальная), ккал/л	Объемная теплотворная способность	Объем сосудов при одинаковом запасе тепловой энергии
по сравнению с керосином (данные для керосина приняты за единицу)				
Чистые порошки:				
Бериллий	1,82	27 300	3,25	0,31
Бор	2,3	32 400	3,81	0,26
Алюминий	2,7	19 700	2,35	0,42
Магний	1,74	10 450	1,25	0,82
Смесь 50% порошка и 50% керосина				
Бериллий	1,13	14 250	1,7	0,59
Бор	1,21	14 650	1,75	0,57
Алюминий	1,26	11 050	1,32	0,76
Магний	1,11	9000	1,07	0,93

Примечания: 1. Теплотворная способность керосина принята 10 250 ккал/кг, плотность — 0,82. 2. Теплотворная способность металлического топлива приведена с учетом образования твердых окислов металлов.

ла (поверхностное горение) либо в паровой фазе (парофазное горение). Горение сложных металлосодержащих топлив происходит стадийно. Так, при использовании хим. соединений $LiAlH_4$, сначала горит водород, затем литий и наконец алюминий; если М. т. служат магниевоалюминиевые сплавы, вначале горит магний, затем алюминий. Металлические добавки к твердому топливу не только повышают удельную тягу, но и увеличивают стойкость горения.

Лит.: Кондратюк Ю. В. Завоевание межпланетных пространств. М., 1947; Цандер Ф. А. Проблема полета при помощи реактивных аппаратов. М., 1961; Паушкин Я. М. Химия реактивных топлив. М., 1962; Алемасов В. Е., Дрегалов А. Ф., Тишин А. П. Теория ракетных двигателей. М., 1969.

В. А. Подергин.

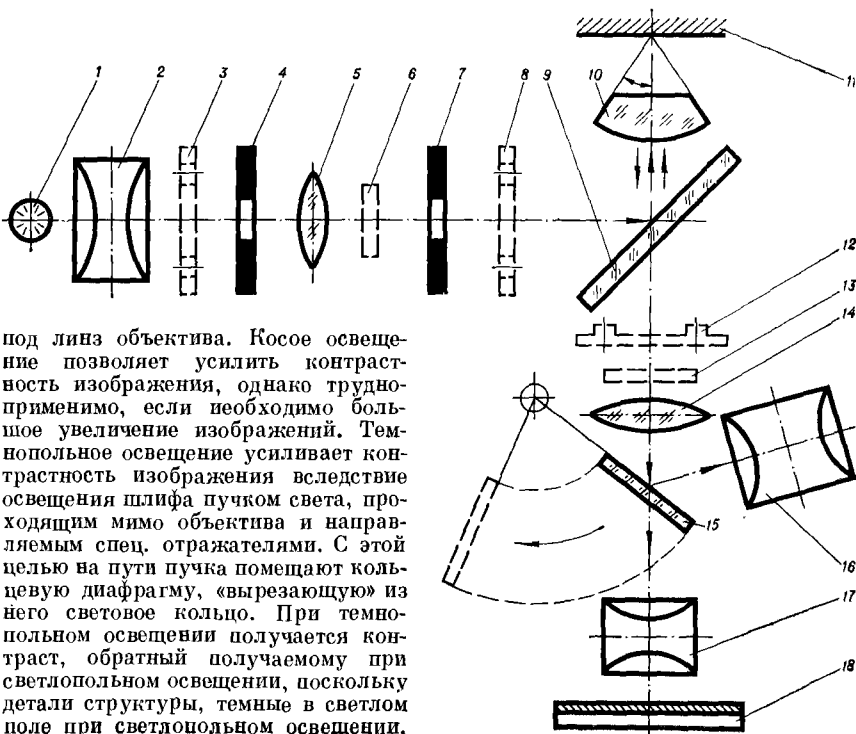
ют под микроскопом, в к-ром пучок света отражается от элементов шлифа в зависимости от их ориентации так, что определяющие элементы структуры, находящиеся перпендикулярно к пучку, на изображении шлифа кажутся светлыми, а расположенные наклонно кажутся темными.

Эти особенности дают возможность выявлять различные элементы микроструктуры, которые были по-разному вытравлены при подготовке шлифа. Приемы и методы М. а. разнообразны. При светлопольном освещении шлиф располагают перпендикулярно к оптической оси микроскопа (рис.). В микроскопе свет из источника направляется конденсором в плоскость апертурной диафрагмы,

а затем через собирательную линзу и полевую диафрагму попадает на полупрозрачное зеркало. Отразившись от него, свет проходит через объектив, попадает на шлиф, вновь проходит через объектив и полупрозрачное зеркало и попадает на линзу, создающую с помощью зеркала изображение шлифа в окуляре. Для получения фотографического изображения шлифа зеркало отклоняют, и луч света попадает через фотоокуляр на фотопластинку. Фотоокуляры предназначены для микрофотографирования, вследствие чего в них почти полностью устранена сферическая и хроматическая aberrации. Косое освещение достигается смещением системы линз конденсора или апертурной диафрагмы относительно оптической оси, что приводит к кажущемуся уменьшению числовой апертуры, поскольку используется только часть поверхности линзы. Иногда для косого освещения смещают источник света или подсвечивают шлиф из-

выглядят при темнопольном освещении светлыми, и наоборот. Разрешающая способность микроскопа при темнопольном освещении не снижается. Нередко между источником света и конденсором размещают непрозрачную диафрагму, к-рую пучок света огибает. Получающееся изображение аналогично наблюдаемому при темнопольном освещении, но более контрастно. Разрешающая способность микроскопа от диа-

Оптическая схема металлографического микроскопа, используемого в металлографическом анализе: 1 — источник света; 2 — конденсор; 3 — кольцевая диафрагма для фазового контраста; 4 — апертурная диафрагма; 5 — собирательная линза; 6 — поляризатор; 7 — полевая диафрагма; 8 — кольцевая диафрагма для темнопольного освещения; 9 — полупрозрачное зеркало; 10 — объектив; 11 — металлографический шлиф; 12 — фазовая пластинка; 13 — анализатор; 14 — линза; 15 — зеркало; 16 — окуляр; 17 — фотоокуляр; 18 — фотопластинка.



фрагмирования не уменьшается. Фазоконтрастный метод М. а. основан на том, что разность фаз лучей, обусловленная различным отражением светового пучка от элементов структуры, по-разному выступающих над уровнем шлифа, приводит в микроскопе к изменению интенсивности этого пучка. Достигается это введением кольцевой диафрагмы (в плоскости апертурной диафрагмы), а в проектирующей системе — фазовой пластинки, на которую нанесено фазовое кольцо из материала, поглощающего часть прошедшего через него света и сдвигающего его фазу на четверть длины волны. Часть света проходит мимо фазового кольца и не испытывает сдвига фазы. Изображение образуется в результате интерференции пучков света с разными фазами. Эти пучки могут усиливать или ослаблять друг друга, что и влияет на яркость деталей изображения в поле зрения. В результате интерференции пучков света создается положительный фазовый контраст, т. е. изображение имеет светлые (выступы) и темные (впадины) контрастные участки в том случае, если сдвиг фаз получают с отставанием на четверть длины волны. Обратный эффект (отрицательный фазовый контраст) наблюдается, если сдвиг фаз создает опережение на четверть длины волны. Предельное различие в уровнях рельефа поверхности, обнаруживаемое с помощью фазового контраста, достигает 50 Å. Фазоконтрастный метод служит гл. обр. для качественной оценки структуры шлифа. Применение в М. а. поляризованного света обеспечивается введением в микроскоп поляризатора и анализатора; шлиф освещается плоскополяризованным светом. Если поверхность шлифа изотропна, свет остается плоскополяризованным, и поэтому при введении анализатора происходит полное гашение света. Если же поверхность шлифа анизотропна, то часть отраженного им света имеет составляющую, перпендикулярную к плоскости поляризации. В этом случае изображение при введении анализатора

полностью не гасится, хотя происходит чередующееся при каждом повороте анализатора (на 90°) изменение интенсивности света и обусловленной им яркости изображения. Поскольку интенсивность поляризованного света зависит в основном от кристаллографической ориентации кристалла на поверхность, применение поляризованного света наиболее целесообразно для исследования микроструктуры поликристаллических материалов или для определения их преимущественной ориентации. Интерференционный метод М. а. основан на использовании интерференционных линий монохроматического света. По этому методу монохроматический свет длиной волны λ направляют на оптический клин с малым углом θ (угол падения на обе его стороны практически одинаков). Вследствие разницы в оптической длине пути света лучи образуют на таком клине полосы взаимного усиления и гашения в соответствии с уравнением вида $n\lambda = 2\mu d \cos \theta$, где n — порядок интерференции; μ — показатель преломления воздуха; d — толщина клина. Обычно $n\lambda = 2d$, поскольку $\cos \theta = 1$; $\mu = 1$. В интерференционном микроскопе одной из сторон клина служит отражающая пластина (эталонное зеркало), второй стороной — шлиф. Световые лучи от отражающей пластины и шлифа налагаются друг на друга и интерферируют, образуя интерференционные полосы, являющиеся геометрическим местом точек постоянной толщины, причем ширина темных и светлых полос примерно одинакова. Оптическая система микроскопа позволяет наложить эти полосы на изображение шлифа. Об изменении рельефа шлифа судят по искривлению интерференционных полос (впадины и выступы приводят к искривлению в различные стороны). Зная длину волны, измеряют детали микроструктуры. Точность метода — около 0,1 расстояния между интерференционными максимумами, т. е. порядка 0,05 λ . Высоту неровностей и др. вычисляют с помощью спец. окулярного микрометра. Метод используется гл. обр. для получения топографии поверхности шлифа при небольших увеличениях (до 500).

Н. спец. методом М. а. — относительно высокотемпературный. Высокотемпературный анализ используется для изучения микроструктуры металла при нагреве (чаще — эл. током, реже — в печи). Отличительной особенностью микроскопов для исследования при высокой т-ре является наличие нагревательного устройства на предметном столике и использование длиннофокусных объективов, что ограничивает допустимые предельные увеличения микроскопа. Во избежание поверхностного окисления, искажающего общую картину изменения микроструктуры, шлиф с нагревательным устройством помещают в вакуумную камеру или камеру с защитной средой, напр. хим. неактивным газом (аргоном и др.). В вакууме нагревают обычно металлы с повышенной окисляемостью и с высокой упругостью их паров (чтобы предотвратить образование металлической пленки на смотровых окнах камеры). Во избежание образования налета испаренного металла на смотровых окнах используют и защитные экраны (устраиваемые во время исследования). Конструкция предметного столика микроскопа для исследований при низкой т-ре дает возможность подводить охлаждающую среду к шлифу и предотвращать образование конденсата. Шлиф размещают в эвакуированном пространстве или в среде инертного газа низкотемпературной камеры. Низкотемпературный анализ позволяет наблюдать изменение структуры, напр., при развитии *мартенситного превращения* в сталях с низкой мартенситной точкой. Однако при использовании низкотемпературных камер можно применять лишь длиннофокусные объективы. Нередко прибегают к металлографическому исследованию изменения структуры под влиянием пластической деформации (чаще всего — растяжения). Такое исследование осуществляют с помощью объективов, обеспечивающих достаточную глубину резкости (во избежание возможной расфокусировки в связи с деформацией). Для фиксирования микроструктуры или ее изменений используют гл. обр. фотографирование. На микроскопах устанавливают приспособления, ав-

томатически определяющие длительность экспозиции. Используют пленку высокой разрешающей способности и контрастности, повышенной чувствительности, цветную пленку. Предусмотрено использование пленки типа «ПолярOID», позволяющей получать за несколько секунд удовлетворительную микрофотографию структуры. Применяют микрокиносъемку на фотопленке высокой чувствительности. Все более широкое распространение получают микроскопы с телевизионным экраном. М. а. — один из осн. методов исследования структуры металлов в физ. и тех. металловедении, материаловедении и термической обработке.

Лит.: Лозинский М. Г. Строение и свойства металлов и сплавов при высоких температурах. М., 1963; Панченко Е. В. [и др.]. Лаборатория металлографии. М., 1965; Физическое материаловедение, в. 2. Пер. с англ. М., 1968; Смоллен Р., Ашби К. Современная металлография. Пер. с англ. М., 1970; Металлография железа, т. 1. Пер. с англ. М., 1972; Приборы и методы физического металловедения, в. 1. Пер. с англ. М., 1973.

В. Н. Гриднев, С. П. Ошакдеров.

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ — то же, что и *спеченные материалы*.

МЕТАЛЛОПОДОБНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ — соединения металлов (преимущественно переходных) с неметаллами — *гидриды, бориды, карбиды, силициды, германиды, нитриды, фосфиды и халькогениды*. Для М. с. характерны св-ва металлов — значительные *электропроводность и теплопроводность*, высокие т-ры *плавления*, в большинстве случаев превышающие т-ры плавления металлов, высокая хим. стойкость в различных жидких и газообразных агрессивных средах за исключением сред с высоким окислительным потенциалом. Некоторые М. с. — *сверхпроводники*. В отличие от металлов, М. с. обладают высокой *твердостью*, относительно низким значением температурного коэфф. линейного расширения, небольшой стойкостью к тепловым ударам и малым значением предела прочности и пластичности при низких температурах. Все свойства М. с. определяются характером хим. связи и их кристаллохимически-

ми характеристиками. Согласно правилу Хэгга, структуры гидридов, боридов, карбидов, силицидов, германидов и нитридов переходных металлов определяются отношением радиусов атомов неметалла (r_X) и соответствующего переходного металла (r_M) (табл.). При $r_X/r_M < 0,59$ образуются простые структуры, в которых атомы металла образуют одну из плотнейших упаковок — кубическую гранецентрированную или гексагональную плотноупакованную, а атомы неметалла внедрены в тетраэдрические или октаэдрические пустоты решетки металла. Внедрение атомов неметалла в кристаллическую решетку переходных металлов сопровождается образованием сильных хим. связей $M-X$, что определяет св-ва *внедрения фаз*, отличные от св-в соответствующих металлов. Гидриды переходных металлов — типичные фазы внедрения, обладают широкими областями гомогенности, кристаллизуются преим. в кубической решетке типа CaF_2 . Наиболее стабильны гидриды переходных металлов III группы. С ростом номера группы, в которой расположен переходный металл, стабильность гидридов снижается, достигая минимума у гидридов металлов VI группы, и увеличивается у гидридов металлов VIII группы. У карбидов переходных металлов IV—VI групп и нитридов всех переходных металлов соблюдается необходимое для образования фаз внедрения условие. Эти соединения образуют фазы MX и M_2X , отличающиеся широкими областями гомогенности, к-рые сужаются при переходе от соединений переходных металлов IV группы к соединениям металлов VI группы. Кристаллизуются они в кубической решетке типа $NaCl$ или гексагональной решетке. Исключение составляют карбиды хрома, у которых $r_C/r_M > 0,59$. Они образуют фазы Cr_3C_2 , Cr_7C_3 и $Cr_{23}C_8$, отличающиеся более сложными структурами и практически не имеющие области гомогенности. Все М. с. представляют собой порошки серого или золотистого цвета. Они сохраняют металлич. характер прово-

димости, их т-ры плавления выше т-р плавления соответствующих металлов, и разность между ними уменьшается с ростом номера группы, в которой расположен соответствующий металл. Для боридов, у которых отношение r_B/r_M соответствует пределу применимости правила Хэгга, характерно образование сложных структурных элементов из атомов бора. Высокие акцепторные св-ва бора, обусловленные его электронной структурой, приводят в богатых бором фазах к образованию ковалентных связей между атомами бора, в которых принимают участие как валентные электроны атомов бора, так и электроны атомов металлов — партнеров по соединению. Способность переходных металлов к поливалентности и образованию связей $M-M$ обуславливает наличие большого количества боридных фаз с различными кристаллическими

Отношение атомных радиусов неметалла и металла у металлоподобных соединений

Металл	r_B/r_M	r_C/r_M	r_N/r_M
Скандий	—	0,47	0,43
Титан	0,59	0,53	0,48
Ванадий	0,65	0,57	0,52
Хром	0,69	0,61	0,51
Марганец	0,69	0,59	0,53
Железо	0,69	0,61	0,56
Кобальт	0,70	0,62	0,56
Никель	0,70	0,62	0,56
Иттрий	—	0,43	0,39
Цирконий	0,54	0,48	0,44
Ниобий	0,63	0,53	0,48
Молибден	0,63	0,55	0,50
Технеций	—	—	0,51
Рутений	0,65	—	0,52
Родий	0,65	—	0,52
Палладий	0,64	—	0,51
Лантан	0,47—0,50	0,38—0,44	0,37—0,40
Гафний	0,55	0,48	0,44
Тантал	0,60	0,53	0,48
Вольфрам	0,63	0,55	0,50
Рений	0,64	—	0,51
Осмий	0,64	—	0,52
Придий	0,64	—	0,51
Платина	0,63	—	0,51
Торий	0,48	0,43	0,39
Уран	0,57	0,50	0,46

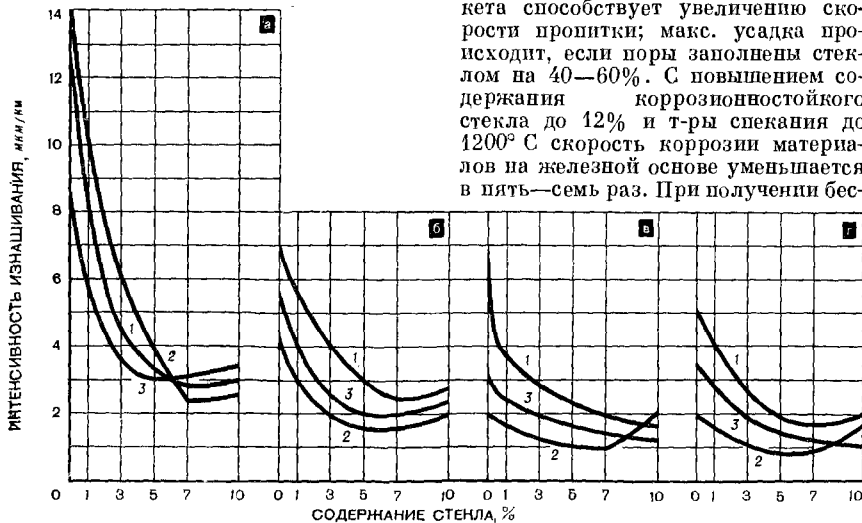
структурами и св-вами. При этом связи М—М и М—В имеют меньшее значение, чем в карбидах и нитридах. В основу классификации боридов Кислингом принято образование структурных элементов из атомов бора, которые могут находиться в решетках боридов в изолированном состоянии, в виде пар или в виде цепочек прямых, зигзагообразных с боковыми ответвлениями, плоских или гофрированных сеток, двух- и трехмерных ячеек. Структуры низших по содержанию бора боридов с изолированными атомами бора близки к структурам фаз внедрения; по мере увеличения содержания бора, начиная с моноборидов, структуры усложняются. Наибольшее количество атомов бора в боридах переходных металлов соответствует фазам MB_{12} . Образование ковалентно-связанных структурных элементов из атомов бора в сочетании с наличием электронов проводимости атомов металлов определяет высокую электропроводность боридов. В то же время наличие структурных элементов из атомов бора обуславливает высокие t_p плавления боридов, их *микротвердость*, хим. стойкость. Силициды, вследствие относительно большого значения радиуса атома кремния ($r_{Si} = 1,17 \text{ \AA}$, в то время как $r_C = 0,77 \text{ \AA}$, $r_N = 0,71 \text{ \AA}$ и $r_B = 0,91 \text{ \AA}$), занимают промежуточное положение между фазами внедрения и интерметаллическими фазами. По структурам они весьма близки к боридам и характеризуются наличием связей Si—Si, М—Si и М—М. В отличие от боридов, наиболее богатые кремнием фазы — дисилициды, а в отдельных случаях — трисилициды. Низшие по содержанию кремния фазы (M_3Si) имеют структуру металлов с изолированными атомами кремния. С увеличением содержания кремния структуры силицидов усложняются от пар до цепочек, сеток и пространственных каркасов из атомов кремния. Характер связи в силицидах в значительной степени металлический. Силициды, в отличие от боридов, карбидов и нитридов, обладают более низкими по сравнению с металлами t_p плавления и твердостью, хим. до-

статочно стойки. Германиды переходных металлов аналогично силицидам образуют сложные структуры, в которых ковалентные связи между атомами германия играют существенную роль. По тугоплавкости они уступают силицидам. Некоторые германиды обладают высокими температурами перехода в сверхпроводящее состояние. Фосфида переходных металлов близки по св-вам как к металлам (TiP, ZrP, HfP), так и к полупроводникам (VP, NbP, TaP, CrP, MoP, WP). Монофосфида переходных металлов обладают высокими температурами разложения ($1300\text{—}1700^\circ \text{C}$). Химически достаточно стойки. Халькогениды переходных металлов — сульфиды, селениды и теллуриды — образуют фазы M_2X , MX , M_3X_4 , M_2X_3 , MX_2 и иногда MX_3 . Многие из них являются фазами переменного состава. По мере увеличения отношения X/M и донорной способности переходного металла, образующего халькогенид, структурные элементы из ковалентно-связанных атомов халькогена усложняются и наблюдается переход от металлоподобных соединений к соединениям полупроводникового типа. М. с. получают гл. обр. синтезом из простых веществ, взаимодействием окислов или солей металлов с соответствующими неметаллами или их соединениями, взаимодействием летучих соединений металлов и неметаллов в парогазовой фазе. Наряду с классическими методами нагрева шихты в электр. печах сопротивление в среде восстановительного или инертного газа и в вакууме, а также в плавильных печах для синтеза используют дуговую или высокочастотную плазму. Осуществляется и самораспространяющийся высокотемпературный синтез, к-рый основан на использовании тепла экзотермической реакции. Синтез происходит в режиме горения, распространяющемся от места локального инициирования реакции передачей тепла от нагретых слоев к холодным. Изменение в широких пределах характера хим. связи и физико-химических св-в обуславливает широкие области применения метал-

лоподобных соединений. Это — огнеупорные материалы, абразивные материалы, материалы радио- и электротехнического назначения, химической пром-сти, машиностроения, ядерной и космической техники. Лит.: Самсонов Г. В., Бондарев В. И. Германиды. М., 1968; Косолапова Т. Я. Карбиды. М., 1968; Самсонов Г. В. Нитриды. К., 1969; Гладышевский Е. И. Кристаллохимия силицидов и германидов. М., 1971; Самсонов Г. В., Дроздова С. В. Сульфиды. М., 1972; Оболончик В. А. Селениды. М., 1972; Самсонов Г. В., Упадхан Г. Ш., Нешпор В. С. Физическое материаловедение карбидов. К., 1974. Т. Я. Косолапова.

МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫЕ МАТЕРИАЛЫ — спеченные материалы, состоящие из смеси порошков металла и стекла. Впервые получены (1963) в СССР. М. м. изготавливают холодным прессованием шихты с последующим спеканием заготовок, пропиткой расплавленным стеклом пористых металлических заготовок или горячим прессованием смеси компонентов. Шихтой служат железные порошки, порошки из нержавеющей стали, никелевые по-

Зависимость интенсивности изнашивания железостеклянного материала от содержания стекла при различных скоростях скольжения (1— 0,42 м/сек; 2— 0,84 м/сек; 3— 1,28 м/сек) в различных средах (а — дистиллированная вода; б, в и г — соответственно 5, 15 и 35%-ный раствор NaOH).



рошки, титановые порошки, порошки из тарного стекла, кварцевого стекла, листового, термостойкого, электровакуумного и др. стекл. Св-ва М. м. зависят от хим. состава исходных компонентов и технологии получения. М. м. отличаются высокой прочностью и коррозионной стойкостью, а в определенных условиях — износостойкостью. При наличии стеклянной фазы процессы спекания активируются (особенно с повышением дисперсности исходных компонентов) и абс. значение усадки значительно возрастает. Существенное влияние на процессы спекания оказывают т-ра размягчения стеклянной фазы, а также ее вязкость. Увеличение плотности материала и содержания стекла в шихте способствует повышению количества закрытых пор. В процессе спекания М. м. происходит хим. взаимодействие между окислами на поверхности металлических частиц и стеклом, изменяется коэфф. преломления стеклянной фазы. В железостеклянных материалах при этом кристаллизуется, напр., файлит Fe_2SiO_4 . При пропитке пористой металлической заготовки расплавленным стеклом привес образцов (ΔG) зависит от продолжительности процесса (t), т. е. $(\Delta G)^2 = k_1 t$, где k_1 — коэфф., определяемый условиями пропитки. Повышение т-ры пропитки и пористости брикета способствует увеличению скорости пропитки; макс. усадка происходит, если поры заполнены стеклом на 40—60%. С повышением содержания коррозионностойкого стекла до 12% и т-ры спекания до 1200° С скорость коррозии материалов на железной основе уменьшается в пять—семь раз. При получении бес-

пористых материалов стеклянная фаза оказывает существенное влияние на прочностные характеристики. Износостойкость М. м. обусловливается сочетанием мягкой металлической основы с твердыми *нематаллическими включениями*. Если содержание стеклянной фазы увеличивается, значительно снижаются величины износа и коэфф. трения. Наибольшей износостойкостью обладает М. м. с 7% стекла (рис.): после 100 ч эксплуатации у поверхностей вала и втулки был 9—10-й класс чистоты (исходная чистота обоих — 7-й класс). Высокими антифрикционными св-вами при эксплуатации в агрессивных средах характеризуется М. м. состава (в %): графита — 2 ÷ 5; дисульфида молибдена — 2 ÷ 4; стекла — 5 ÷ 10; стеарата цинка — 1 ÷ 1,5; остальное — железо. Мех. св-ва М. м. такого состава после термической обработки: предел прочности на растяжение ~ 70 кгс/мм²; предел прочности на изгиб ~ 100 кгс/мм²; ударная вязкость ~ 1 кгс · м/см²; модуль Юнга 16 000—18 000 кгс/мм²; твердость 50 ÷ 55 HRC. При граничном трении в масле «Веретенное 3», давлении 90 кгс/см² и скорости 2 м/сек (машина МИ-1М) износ образца составил ≤ 1 мкм/км, износ контртела из стали марки P18—0,0217 мкм/км (коэфф. трения 0,08). Материал сохранил работоспособность и при трении без смазки. М. м. изготавливают и на других основах (легированные стали, титан, магний и др.). Материал на основе легированного *низрома* со стеклом сохраняет до т-ры 700° С высокие мех. св-ва и высокую износостойкость при трении в условиях действия газовых и жидких сред (скорость до 75 м/сек, давление до 5 кгс/см²). Из М. м. изготавливают железостеклянные шпунты, железостеклянные детали хлопкоуборочных машин и др.

Лит.: Супрунов В. А., Кисельников В. Н. Свойства псевдосплавов на основе железного порошка, пропитанных в расплавленном стекле. «Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология», 1963, т. 6, № 4; Каверин С. Г. Исследование антифрикционных свойств пористого железогрфита с нематаллическими включениями. В кн.: Вопросы механики, в. 2. Ташкент, 1965; Власюк Р. З., Радомысельский И. Д. Поведение стекла при спекании металлостеклянных мате-

риалов. «Порошковая металлургия», 1969, № 11; Колобов Ю. М., Лялин Е. В., Мельников В. Г. Исследование износостойкости металлостеклянных материалов при трении в водных растворах едкого натра. «Порошковая металлургия», 1973, № 12; Радомысельский И. Д., Щербань Н. И. Пропитка пористых железных прессовок расплавленным стеклом. «Порошковая металлургия», 1973, № 8.

И. Д. Радомысельский, Н. И. Щербань.
МЕТАЛЛОФИЛЬНОСТЬ (от греч. φιλῶ — люблю) — интенсивное взаимодействие веществ или образующих ими тел с поверхностью металла; частный случай *лиофильности*. Представления о металлофильности основываются преим. на данных об агрегативной устойчивости коллоидных растворов металлов, *адсорбции* веществ на металлах, об *адгезии* с поверхностью металлов, а также на данных о связывании материалов металлическими наполнителями. Применение поверхностно-активных веществ при диспергировании металлов в водной среде приводит к лиофилизации (гидрофилизации) поверхности этих металлов, т. е. металлофилизации дисперсной среды, что способствует повышению агрегативной устойчивости коллоидных растворов металлов. Понижение твердости металлов в процессе их диспергирования (при наличии образующих адсорбционные слои поверхностно-активных веществ) — также следствие лиофилизации их поверхности. Лيوфилизующее действие поверхностно-активных веществ связано с образованием на поверхности металлов сольватных слоев значительной толщины, в чем проявляется эффект адсорбционного понижения прочности. Этот эффект наблюдается при диспергировании любой твердой фазы. Диспергирование металлов до коллоидной степени дисперсности при наличии поверхностно-активных веществ мало зависит от интенсивности воздействия этих веществ и обусловлено преимущественной лиофилизацией поверхности измельчаемых частиц и их разрушением вследствие расширения адсорбционного слоя в глубь микрощелей и зоны предразрушения металлической частицы. Наиболее дисперсные и стабиль-

ные органозоли (коллоидные растворы металлов в органических растворителях) образуются, если в качестве дисперсной среды применяют ароматические углеводороды (ксилол, толуол), отличающиеся значительной металлофильностью. Углеводороды жирного ряда менее металлофильны, и получаемые в них органозоли металлов грубодисперсны и нестабильны. М. имеет большое значение для получения и изучения свойств сверхтонких порошков металлов при наполнении ими (с целью регулирования физико-хим. свойств) материалов.

Лит. см. к ст. Металлофобность.

Р. В. Кучер, Б. Т. Лапан.

МЕТАЛЛОФОБНОСТЬ (от греч. φόβος — страх) — слабое взаимодействие веществ или образуемых ими тел с поверхностью металла; частный случай *лиофобности*. Металлофобность можно рассматривать также как малую степень *металлофильности*. М. одного из слабо взаимодействующих веществ иногда характеризуют *гидрофобность* другого вещества. Так, М. воды как дисперсной среды коллоидных растворов металлов можно представить гидрофобностью этих металлов.

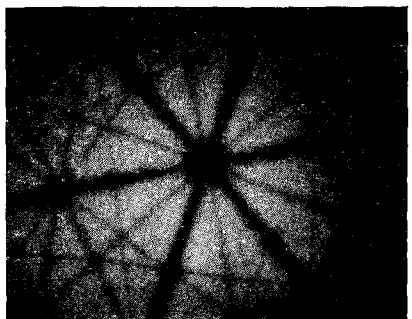
Лит.: Ребиндер П. А. Образование и механические свойства дисперсных структур. К физико-химической механике силикатных дисперсий. «Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева», 1963, т. 8, № 2.

Р. В. Кучер, Б. Т. Лапан.

МЕТОДОМ ОРИЕНТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ АНАЛИЗ — анализ кристаллов, основанный на исследовании ориентационной зависимости выхода процессов, протекающих при взаимодействии высокоэнергетических заряженных частиц с атомами кристалла. Для М. о. э. а. используют частицы с энергией от нескольких килоэлектронвольт до десятков мегаэлектронвольт. В процессе анализа изучают процессы, определяющиеся близким (на расстоянии менее $0,2 \text{ \AA}$) взаимодействием. В СССР М. о. э. а. впервые (1965) применен А. Ф. Тулиновым. Различают анализы, основанные на эффекте каналирования, на эффекте теней и на двойной ориентации. При анализе, основанном

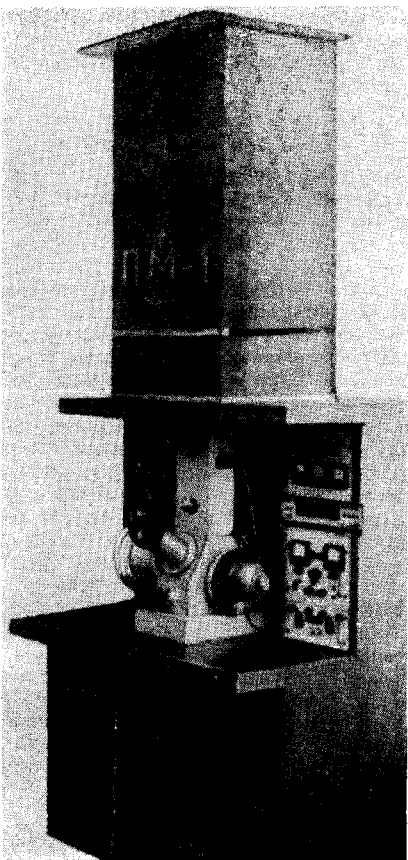
на эффекте каналирования, кристалл (преим. *монокристалл*, реже — *поликристалл*) облучают коллимированным с точностью не ниже $0,1^\circ$ пучком заряженных частиц (протонов, альфа-частиц или тяжелых ионов). Угол падения пучка частиц относительно направления плотной упаковки атомов кристалла (обычно несколько градусов) меньше критического угла $\psi_{кр}$, что и обуславливает эффект каналирования — направленное движение частиц вдоль каналов, образованных рядами плотноупакованных атомов. Поскольку каналированные частицы не приближаются к ограничивающим канал атомным рядам на расстояние менее $0,2 \text{ \AA}$, они не участвуют в процессах, возникающих при более близком взаимодействии частиц с атомами кристалла (в резерфордском рассеянии на больших углах, ядерных реакциях, возбуждении рентгеновского характеристического излучения). С уменьшением угла падения пучка от $\psi_{кр}$ до 0 доля каналированных частиц резко возрастает, в результате чего выход процессов близкого взаимодействия падающих частиц с атомами кристалла, расположенными в узлах решетки, снижается на два порядка. Рассеяние на электронах и дефектах в кристаллах, а также неупругие потери энергии в процессе прохождения пучка в кристалл приводят к деканалированию некоторой части каналированных частиц — выходу их из режима каналирования. Деканалированные частицы наравне с неканалиро-

Рис. 1. Протонограмма кристалла молибдена для направления (110), полученная в процессе методом ориентационных эффектов анализа.



ванными (т. е. не попавшими в режим каналирования при входе в кристалл) участвуют в процессах близкого взаимодействия с атомами, расположенными в узлах решетки. Если дефектами являются примесные атомы, расположенные вне узлов решетки, в процессах близкого взаимодействия с ними участвуют все три вида частиц движущегося через кристалл пучка — неканалированные, деканалированные и каналированные. Выход таких процессов иногда даже превосходит выход процессов, возникающих при произвольном, неориентированном, падении пучка. Подобное обстоятельство связано с неравномерным

Рис. 2. Протонный микроскоп ПМ-1, используемый для метода ориентационных эффектов анализа.



распределением плотности каналированных частиц по поперечному сечению канала. Если направление падения пучка совпадает с направлением канала, плотность каналированных частиц от периферии к центру канала увеличивается на два-три порядка. С ростом угла падения пучка от 0 до $\psi_{кр}$ область макс. плотности каналированных частиц постепенно перемещается на периферию канала. Соответственно макс. выход процессов близкого взаимодействия каналированных частиц с внедренными примесными атомами наблюдается при тех углах падения пучка, при к-рых эти атомы оказываются в областях макс. плотности частиц в канале. Если смещенными являются атомы матрицы, то ориентационная зависимость процессов близкого взаимодействия позволяет исследовать разупорядочение решетки и степень кристалличности образца. Такая возможность особенно ценна при наличии в кристалле радиационных повреждений. В процессе анализа, основанного на эффекте каналирования, пучок заряженных частиц направляют на кристалл, укрепленный на гониометре, позволяющем вращать его одновременно вокруг двух взаимно перпендикулярных осей. Затем при помощи детектора, установленного под большим углом к направлению падения пучка, регистрируют рассеянные частицы, продукты ядерных реакций или рентгеновские кванты. Если примесные атомы тяжелее атомов кристалла, регистрируются рассеянные частицы, в противном случае — продукты ядерных реакций или рентгеновские кванты. Чувствительность этого вида анализа к концентрации примесей составляет 1%. Точность определения положений примесных атомов в ячейке решетки достигает сотых долей ангстрема. В процессе анализа, основанного на эффекте теней, к-рый наблюдается, если в узлах кристаллической решетки есть источник высокоэнергетических частиц (напр., при радиоактивном распаде ядер или при резерфордовском рассеянии на большие углы частиц, попавших в кристалл извне), вдоль

направлений плотной упаковки атомов ориентируют не источник частиц, а детектор. Если детектором служит фотопластинка, получают картину теней — протонограмму, представляющую собой своеобразную фотографию решетки (рис. 1 с. 810). Центральное пятно на протонограмме соответствует миним. выходу частиц в направлении регистрации, остальные пятна и линии — другим плотнупакованным направлениям и плоскостям. При анализе, основанном на двойной ориентации, облучение кристалла и регистрацию выходящих из него частиц осуществляют в направлениях плотной упаковки атомов. Поскольку в этом случае взаимодействие пучка с решеткой кристалла уменьшается, чувствительность анализа заметно растет. При определении, напр., концентрации примесей она составляет сотые доли процента. Для М. о. э. а. используют протонные микроскопы (рис. 2 с. 811), изучая с их помощью различные дефекты структуры кристаллов. Он наиболее эффективен при исследовании локализации примесных атомов в ячейках кристаллической решетки, а также ее радиационных нарушений. Помимо этого, М. о. э. а. дает возможность получать информацию о неупорядоченности решетки, о распределении дефектов в приповерхностных слоях кристалла и в эпитаксиальных пленках (см. *Эпитаксия*). Кроме того, М. о. э. а. дополняет рентгеноструктурный анализ при определении типов кристаллических структур, в частности кристаллов, состоящих из атомов разной массы.

Лит.: Тулинов А. Ф. Об одном эффекте, сопровождающем ядерные реакции на монокристаллах, и о его использовании в различных физических исследованиях. «Доклады АН СССР», 1965, т. 162, № 3; Липидхард Й. Влияние кристаллической решетки на движение быстрых заряженных частиц. «Успехи физических наук», 1969, т. 99, в. 2; Кумахов М. А. Пространственное перераспределение потока заряженных частиц в кристаллической решетке. «Успехи физических наук», 1975, т. 115, в. 3. Е. И. Этингоф.

МЕЧЕННЫХ АТОМОВ МЕТОД в исследовании материалов — метод анализа физических и химических свойств материалов,

основанный на исследовании изотопных разновидностей (изотопных меток) химического элемента. Применяется с начала 20 в. Изотопными метками служат как радиоактивные (преимущественно), так и стабильные изотопы. М. а. м. используют для исследования *диффузии* и самодиффузии, фазовых гетерогенных равновесий, поверхности материалов, механизма химических реакций, хим. состава вещества и др. Так М. а. м. позволяет существенно сократить время, необходимое для определения диффузионных характеристик, и значительно повысить точность определения коэфф. диффузии D . Если вещество с начальной удельной радиоактивностью A_1 диффундирует в твердую или жидкую фазу в течение времени τ , то радиоактивность A_2 каждого из слоев, находящихся на расстоянии x от поверхности диффундируемого вещества, связана с коэфф. диффузии ур-нием

$$A_2 = \frac{A_1}{2\sqrt{\pi D\tau}} \exp\left(-\frac{x^2}{4D\tau}\right).$$

При изучении диффузии в кристаллических телах на поверхности образца наносят слой диффундируемого вещества, меченного соответствующим радиоизотопом, после чего образец выдерживают необходимое время при определенной t -ре. Распределение диффундируемого вещества в материале может быть установлено, напр., послойным методом, для чего снимают несколько слоев, а затем определяют радиоактивность каждого из них. Часто распределение радиоизотопа в исследуемом образце устанавливают методом радиографии (см. *Автордиографический анализ*). При исследовании диффузии в жидкой фазе меченное изотопной меткой вещество помещают в капилляр, а затем определяют скорость перемещения изотопной метки вдоль оси капилляра. Сравнивая начальную радиоактивность введенной изотопной метки A_1 и радиоактивность A_2 на различном расстоянии x от начала капилляра за время диффузии, определяют коэфф. диффузии по ур-нию

$$\ln \frac{\pi^2}{8} \left(\frac{A_2}{A_1} \right) = \frac{\pi^2 D \tau}{4x^2}.$$

Исследуемое вещество М. а. м. являющееся самодиффузией никакими иными методами, за редким исключением, не может быть изучено. В процессе исследования фазовых гетерогенных равновесий учитывают то обстоятельство, что удельная радиоактивность пара над веществом, в которое введена изотопная метка, пропорциональна внешнему давлению. Особенно широко М. а. м. применяют для изучения равновесий твердая фаза — пар, поскольку давление пара над кристаллическим телом обычно мало и химико-аналитические методики оказываются недостаточно чувствительными для его определения. Статические методы определения давления пара сводятся к определению радиоактивности газовой фазы над веществом, в которое введено известное количество радиоактивного изотопа. К ним относится и метод точки кипения, основанный на том, что скорость испарения вещества при достижении точки кипения жидкости существенно изменяется. Вследствие этого кривая, выражающая зависимость радиоактивности пара от времени, характеризуется изломом, приходящимся на t -ру кипения. Поскольку пар при t -ре кипения жидкости является насыщенным, анализ кривой радиоактивности пара — время позволяет определить давление насыщенного пара. Динамические методы определения давления пара основаны на определении количества вещества, уносимого потоком химически индифферентного газа, проходящего над образцом. Измеряя радиоактивность уносимого вещества при различных скоростях и экстраполируя величину радиоактивности на нулевую скорость, устанавливают количество пара, находящегося в равновесии над твердым образцом, выдерживаемым при определенной t -ре. В радиометрическом варианте метода Лэнгмюра определяют уменьшение радиоактивности меченного радионуклидом материала. Эта величина пропорциональна потере массы образца; потеря же массы, в свою очередь, пропорциональна давлению насыщенного пара. Разработано несколько вариантов приложения М. а. м. к изучению различных характеристик поверхности материала и, прежде всего, истин-

ной поверхности и ее энергетических св-в. Скорость гетерогенного обмена между металлом М, содержащимся в материале образца, поверхность к-рого исследуется, и находящимся в растворе ионом этого металла M^{z+} пропорциональна истинной поверхности образца. Кинетику обмена изучают, вводя изотопную метку в раствор или в материал образца и определяя скорость ее перехода соответственно из раствора в твердую фазу: $(M^{z+})^* \rightarrow (M)^* - ze$, либо из твердой фазы в раствор: $(M)^* \rightleftharpoons (M^{z+})^* + ze$, где $(M)^*$ — радиоактивный изотоп. Количество атомов на поверхности n_{π} и в растворе n_p связано с количеством радиоактивных атомов в тех же фазах (n_{π}^* и n_p^*) соотношением $\frac{n_{\pi}^*}{n_{\pi}} = \frac{n_p^*}{n_p}$.

Различные участки поверхности твердого тела обладают различными энергетическими характеристиками, напр. способностью взаимодействовать с молекулами окружающей среды (способностью к адсорбции). Чтобы определить степень энергетической неоднородности поверхности, последовательно адсорбируют порции газа одинакового химического, но различного изотопного состава, напр. вначале молекулы водорода H_2 , а затем молекулы дейтерия D_2 . Адсорбируясь, молекулы водорода H_2 занимают энергетически более выгодные места, и поэтому при десорбции вначале от поверхности будут отходить преим. молекулы дейтерия D_2 . Чем более энергетически однородна поверхность, тем более усреднен изотопный состав десорбируемого газа. Проводя адсорбцию и десорбцию значительного числа изотопных разновидностей молекул (напр., $^{12}C^{16}O$; $^{12}C^{18}O$; $^{13}C^{16}O$; $^{13}C^{18}O$; $^{14}C^{16}O$; $^{14}C^{18}O$), улавливают весьма тонкие энергетические различия тех или иных участков поверхности твердого тела. Классическим примером использования М. а. м. для изучения механизма хим. реакций может служить реакция термического разложения азотнокислого аммония

$\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$. Введя изотопную метку ^{14}N в катион $^{14}\text{NH}_4^+$, можно определить, что вся метка находится в форме ^{14}NO . Т. о., в образующейся закиси азота один атом азота происходит из катиона NH_4^+ , а второй — из аниона NO_3^- . С помощью М. а. м. изучают таутомерные превращения, реакции перегруппировок, окислительно-восстановительные хим. процессы. М. а. м. находит применение в изучении хим. состава вещества (см. *Радиометрический анализ, Активационный анализ*). М. а. м. является наиболее эффективным методом изучения степени полноты разделения компонентов смеси. Вводя изотопную метку в один из компонентов, определяют степень разделения радиоактивности между ее фракциями. С помощью М. а. м. разработаны эффективные методы разделения смесей, что особенно важно для получения чистых и особо чистых материалов. Введение изотопных меток в кристаллические вещества позволяет определить *растворимость* труднорастворимых соединений: отношение радиоактивности раствора к радиоактивности твердой фазы определяет величину растворимости. С помощью М. а. м. определяют скорость хим. реакций в положениях, близких к равновесию, когда они обычно протекают весьма медленно. М. а. м. удобен для изучения констант равновесия гетерогенных хим. процессов. Так, в реакции $\text{MS} + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{M} + \text{H}_2\text{S}$, константа равновесия к-рой равна $K_p = \frac{p_{\text{H}_2\text{S}}}{p_{\text{H}_2}}$ (p — парциальное давление), трудноемкое и плохо воспроизводимое определение парциальных давлений H_2 и H_2S в равновесных смесях можно заменить измерением радиоактивности H_2S^* образующегося при восстановлении меченого радиосерой сульфида. С помощью М. а. м. исследуют также разнообразные термодинамические характеристики хим. соединений и материалов.

Лит.: Бродский А. И. Химия изотопов. М., 1957; Нефедов В. Д.

(и др.). Радиоактивные изотопы в химических исследованиях. Л. — М., 1965; Несмеянов А. Н. Радиохимия. М., 1972; Фиалков Ю. Я. Применение изотопов в химии и химической промышленности. К., 1975; Гайсинский М. Ядерная химия и ее приложения. Пер. с франц. М., 1961. Ю. Я. Фиалков.

МИГМАТИТЫ [от греч. *μίγμα* (*μίγμα*-τος) — смесь] — неоднородные глубинные породы, в к-рых макроскопически различаются более древний субстрат из метаморфических пород (палеосома) и магматические или метасоматические новообразования, представленные чаще всего жильным пегматитом, аплитом или гранитом (неосома). Различают М. инъекционного, метасоматического и анатектического происхождения. Инъекционные М. образуются при пропитывании исходной породы гранитной магмой, богатой летучими компонентами. Метасоматические М. формируются под влиянием химически активных растворов или флюидов глубинного происхождения, с к-рыми в исходные породы привносятся одни элементы (гранитофильные) и выносятся другие (гранитофобные). Образование анатектических М. связано с расплавлением менее тугоплавких участков неоднородной породы или выплавлением из однородной породы эвтектического гранитного расплава с последующим его послойным размещением под действием дифференциальных тектонических движений. Инъекционные и метасоматические М., в к-рых жильный материал чужд исходной породе (привнесен со стороны), наз. артеритами. М. с жильным материалом латераль-секреционного происхождения (продуктом селективного выплавления или метаморфической дифференциации) наз. венитами. По тектурным признакам различают М. послойные (полосчатые), глыбовые, (агматиты), сетчатые (диктиониты), плейчатые, птигматитовые, порфиروбластические и тентовые (небулиты). В послойных М. жильный материал располагается параллельно слоистости или сланцеватости исходной породы, протягиваясь на десятки и даже сотни метров. Глыбовые М. характеризуются брекчиевидным строением — глыбы и обломки палеосомы сцементированы более кислой гранитоидной породой. В сетчатых М. палеосома пронизана

орIENTATION в разных направлениях тонкими жилками аплита или гранита. Плойчатые М. характеризуются мелкой складчатостью палеосомы и неосомы. Птигматитовые М. отличаются дисгармоничным строением — в однородном массивном или сланцеватом субстрате располагаются интенсивно смятые аплитовые жилки, ориентированные вдоль сланцеватости, под углом к ней или даже перпендикулярно. В порфиробластических М. неосома представлена крупными кристаллами *полевого шпата*, располагающимися обычно вдоль плоскостей, параллельных сланцеватости. Теневые М. имеют пятнистое или нечеткополосчатое строение — палеосома отличается от неосомы более меланократовым составом. Физ. св-ва М. изменяются в широких пределах. Наиболее распространенные М., минер. состав которых близок к гранитам, характеризуются приблизительно теми же св-вами, что и соответствующие граниты. Мигматиты широко распространены на древних щитах (Украинский, Балтийский, Анабарский и др.), в докембрийском фундаменте палеозойских платформ, а также в древних ядрах послекембрийских складчатых комплексов. Основная масса М. образовалась на ранних этапах формирования земной коры (архей и нижний протерозой). М. наряду с гранитами (часто их не различают) используют в качестве *бутового камня*, *щебня* и гранитного отсева. Нередко из наиболее прочных разновидностей М. изготовляют *брусчатку*, облицовочные блоки, ступеньки и некоторые др. виды каменотесных изделий. Несмотря на то, что М. по прочностным св-вам несколько уступают массивным однородным гранитам, они тем не менее представляют собой ценный каменный материал.

Лит.: Судовиков Н. Г. Мигматиты, их генезис и методика изучения. «Труды Лаборатории геологии докембрия АН СССР», 1955, в. 5; Менерт К. Мигматиты и происхождение гранитов, ч. 1. Пер. с англ. М., 1971.

К. Е. Есипчук, В. И. Орса.

МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ (от греч. *μικρός* — малый и *легирование*) — введение в металлический сплав небольшого (до 0,1% его массы) количества *легирующих материалов* для изменения

св-в. Эффективно влияет прежде всего на строение и энергетическое состояние *границ зерен*. Избирательно адсорбируясь (см. *Адсорбция*) на границах зерен, легирующие материалы уменьшают вредное влияние легкоплавких примесей (серы, висмута, свинца, олова), связывая их в тугоплавкие соединения, повышая этим *жаропрочность*, *коррозионную стойкость*, *прокаливаемость* (особенно при введении бора), *хладостойкость*, снижают *красноложность*, склонность к кристаллизационным трещинам, задерживают *рекристаллизацию* в сталях и др. сплавах. М. включает процессы раскисления (см. *Раскисление*) и *модифицирования*, однако в отличие от них при М. образуются *твердые растворы* (замещения или внедрения) с компонентами основы сплава, происходит также *рафинирование* сплава и нейтрализация вредных примесей, изменение природы, формы и распределения неметаллических фаз, превращение пленочных выделений в глобулярные. Для М. применяют редкие металлы (бор, цирконий, титан, ниобий, ванадий), редкоземельные металлы (церий, лантан, иттрий и др.), их смеси, *ферроцерий*, *мишметалл*, а также алюминий, кальций, магний, барий и азот. Оптимальное содержание редкоземельных металлов, циркония или титана в сталях и др. сплавах 0,02—0,05%, бора в конструкционных сталях 0,001—0,002%, в нержавеющей и жаропрочных сталях 0,0015—0,02%. В процессе М. легирующие материалы вводят так же, как и при легировании. М. применяют для улучшения св-в конструкционных, нержавеющей и жаропрочных сталей, цветных и спец. сплавов. К М. стали редкоземельными металлами прибегают для снижения зональной и дендритной *ликвации*, для получения контролируемой формы *неметаллических включений* в крупных слитках. Лит.: Гольдштейн Я. Е. Микролегирующие стали и чугуны. М.—Свердловск, 1959; Савицкий Е. М. [и др.]. Сплавы редкоземельных металлов. М., 1962; Приданцев М. В. Влияние примесей и редкоземельных элементов на свойства сплавов. М., 1962; Мовчан Б. А. Границы кристаллитов в ли-

тых металлах и сплавах. К., 1970; Гольдштейн М. И. [и др.]. Упрочнение конструкционных сталей нитридами. М., 1970; Микролегирование литых жаропрочных сталей. К., 1974; Бор, кальций, ниобий и цирконий в чугунах и сталях. Пер. с англ. М., 1961; Справочник по редким металлам. Пер. с англ. М., 1965.

МИКРОПОРИСТЫЙ ГИПС — гипс с открытой микропористой структурой. Разработан (1955) в СССР. Образование микропористой структуры обусловлено избытком воды затворения, взятой в количестве 100 — 200% от массы гипса. Чтобы гипсовый раствор, содержащий большое количество воды, схватывался быстрее, в его состав вводят технический сернокислый алюминий, сернокислое железо или алюмоаммиачные квасцы (0,05—0,5% от массы гипса). Консистенция гипсового раствора при изготовлении М. г. должна соответствовать распылу (по Суттарду) 19—20 см. Свежеотформованные микропористые гипсовые отливки содержат от 40 до 62% воды. Их подвергают искусственной сушке при t -ре не выше 100° С в зоне максимальной t -ры и не более 50—55° С при выходе изделий из суши. Объемная масса М. г. в сухом состоянии 500—830 кг/м³; истинная пористость 60—75%; предел прочности на сжатие (при активности строительного гипса 100—115) 11—46 кгс/см²; коэфф. теплопроводности 0,10—0,14 ккал/м × ч · град. Коэфф. размягчения 0,25—0,32. М. г. — полужесткий материал. Защищенный от воздействия влаги, он находит применение в качестве теплоизоляционного, конструктивно-изоляционного, а также звукопоглощающего материала. Лит.: Осадчук Я. Э. Пористые гипсовые материалы. К., 1955.

МИКРОПОРИТ — теплоизоляционный и конструктивно-теплоизоляционный материал с микропористой структурой. Разработан (1950) в СССР. Для произв-ва М. шихту из глины, песка и извести заливают водой, размалывают, образовавшийся шлам разливают в формы и запаривают в автоклаве. Затем полученные изделия высушивают. Оптимальное соотношение сухих компо-

нентов: 60% глины, 20% песка и 20% извести-пушонки. В зависимости от вида глины дозировку компонентов, а также тонкость размола шлама уточняют опытным путем. Если для произв-ва М. используют лессовидные суглинки, из шихты можно исключить песок. Чтобы шлам не расслаивался, в него добавляют при перемешивании раствор *жидкого стекла* (1—5% от массы шлама). Чем больше воды в шламе, тем легче изделие. Шлам с небольшим количеством воды не расслаивается и вводит в него жидкое стекло не нужно. Прочность М. в значительной степени зависит от режима автоклавной обработки, в процессе которой образуется твердый скелет, состоящий из гидросиликатов и гидроалюминатов кальция и представляющий собой мельчайшие сообщающиеся друг с другом ячейки, заполненные водой. При сушке вода испаряется, образуются микроскопические поры. Микропоритовые изделия, полученные из шлама, содержащего 300 — 75% воды (от массы сухих компонентов), характеризуются объемной массой 400—900 кг/м³; пределом прочности на сжатие 15—100 кгс/см²; коэфф. теплопроводности 0,082—0,20 ккал/м · ч · град. М. поддается обработке столярными инструментами — строганию, пиленню и сверлению, хорошо удерживает гвозди, армируется. М. с объемной массой 700—900 кг/м³ рекомендуется для несущих конструкций, М. с объемной массой 400—600 кг/м³ — для теплоизоляционных изделий.

Лит.: Корнилов Ю. Е., Гулинова Л. Г. Строительный микропорит. К., 1952; Колтуновская Б. М. Производство и применение в строительстве микропорита. В кн.: Новые строительные материалы и применение местных материалов. М., 1957. М. Г. Вержебицкая.

МИКРОПОРЫ — поры, выявляемые с помощью оптического микроскопа. Возникают при литье, *термической обработке*, пластическом деформировании, испарении из материала компонента с высокой упругостью паров, в процессе *сварки*, при радиационном повреждении твердых тел, а также развитии поздних стадий роста *субмикропор*. Рост М. происходит вследствие диффузионного перемещения и *коалесценции* «оседающих»

на них избыточных вакансий. В связи с этим равновесный объем М. в общем случае определяется величиной потока вакансий к их поверхностям. Если этот поток достаточно большой, М. могут разрастись до размеров пор. Кроме того, увеличение их размеров может быть связано с коалесценцией, обусловленной перемещением микропор при высокой т-ре. Перемещение М. в кристаллическом материале происходит под действием различных силовых полей (напр., градиентов т-р, концентрации напряжений, электр. и хим. потенциалов). Скорость такого перемещения (в первом приближении) обратно пропорциональна линейным размерам микропор. Сами М. могут быть источниками термических равновесных вакансий. Уход вакансий к др. стокам (напр., границам зерен) приводит к уменьшению объема и залечиванию микропор. Если расстояние до границ зерен значительно превышает расстояние между микропорами, а количество внутризеренных стоков мало, происходит коалесценция М. внутри зерен, сопровождающаяся образованием беспористых зон в пограничных областях. Возможен и обратный процесс: вакансии от М. начнут диффундировать (стекать) в области более низких концентраций — беспористые зоны. В результате коалесценции этих вакансий на различных дефектах структуры в беспористых зонах происходит образование новых зародышей микропор. Наблюдается родственное эффекту Френкеля явление распространения пористости на беспористые области. Скопляясь по границам зерен, М. ухудшают мех. св-ва материала, а концентрация напряжений вокруг М. способствует развитию *микротрещин* — очагов разрушения. Для залечивания М. применяют диффузионный отжиг или *термомеханическую обработку*. В аморфном материале М. залечиваются вследствие пластического течения вещества в их полость. В кристаллическом материале залечивание М. определяется гл. обр. степенью его дефектности. Так, в идеальном *монокристалле* залечивание происходит по механизму вакансионного растворения, а в материале с высо-

кой концентрацией дефектов — по механизму диффузионно-вязкого течения вещества в полость микропор. Для обнаружения и изучения М. используют методы оптической микроскопии, *волюмометрического анализа*, *резистометрии*, *просвечивающей рентгеномископии*.

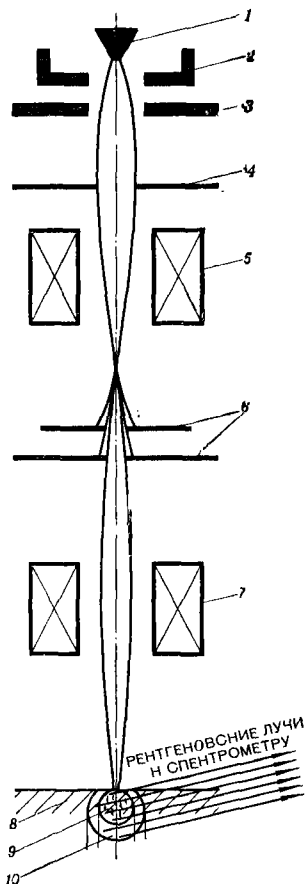
Лит.: Гегузин Я. Е. Макроскопические дефекты в металлах. М., 1962; Томпсон М. Дефекты и радиационные повреждения в металлах. Пер. с англ. М., 1971.

О. А. Шматко.

МИКРОРЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, локальный рентгеноспектральный анализ — анализ состава микрообъема твердого материала по первичным рентгеновским спектрам содержащихся в нем хим. элементов; разновидность *рентгеноспектрального анализа*. Впервые проведен в начале 50-х гг. 20 в. во Франции и в СССР. М. а. основан на возбуждении острофокусированным до диаметра 0,1—3 мкм пучком электронов (электронным зондом) характеристического рентгеновского излучения в микрообъеме исследуемого материала. Миним. анализируемый объем зависит от размера зоны возбуждения рентгеновского излучения, определяемого диаметром пучка электронов и степенью их рассеяния в материале, и составляет 1÷10 мкм³. Различают качественный (см. *Качественный анализ*) и количественный (см. *Количественный анализ*) М. а. хим. элементов от лития до урана. При качественном М. а. возбужденное в материале рентгеновское излучение разлагают в спектр, и линии спектра идентифицируют. При количественном М. а. измеряют интенсивность характеристических линий определяемых хим. элементов относительно интенсивности соответствующих линий от эталонов с последующим пересчетом относительной интенсивности на концентрацию. При расчете концентрации вводят поправки на различие условий возбуждения и выхода рентгеновских лучей из исследуемого материала и эталона. Методика расчета концентрации при использовании в качестве эталона чистых хим. элементов обеспечивает точ-

ность 2—10% (относительно исследуемого количества материала), что позволяет в большинстве случаев при количественном анализе многокомпонентных систем избежать трудоемкого и длительного процесса приготовления спец. эталонов. М. а.

Схема электроннооптической системы рентгеновского микроанализатора, используемого в микрорентгеноспектральном анализе: 1 — катод; 2 — цилиндр Винальта; 3 — анод; 4 — диафрагма конденсора; 5 — магнитная линза конденсора; 6 — диафрагма объектива; 7 — магнитная линза объектива; 8 — образец материала; 9 — зона возбуждения первичного рентгеновского излучения; 10 — зона возбуждения флуоресцентного рентгеновского излучения.



отличается высокой локальной чувствительностью (10^{-12} — 10^{-16} г) при низкой относительной чувствительности ($1 \cdot 10^{-2}$ — $5 \cdot 10^{-2}\%$). Основ. узлы рентгеновского микроанализатора, применяемого при М. а.: система визуального наблюдения, используемая для точного выбора участка на поверхности исследуемого материала; электроннооптическая система (рис.) для ускорения испускаемых катодом электронов до энергии 3—40 кэв и фокусирования их с помощью магн. линз; рентгенооптическая система для анализа возбужденных электронами рентгеновских лучей по длине волны или энергии и интенсивности. У рентгеновских микроанализаторов есть также система для сканирования электронного пучка по исследуемой поверхности и получения на телеэкране изображения распределения анализируемого хим. элемента. В некоторых микроанализаторах предусмотрены автоматическая настройка спектрометров на линию определяемого хим. элемента, регистрация ее интенсивности и расчет концентрации хим. элемента с помощью ЭВМ по заданной программе. С помощью М. а. определяют состав микроколичеств материала, исследуют распределение хим. элементов в материале, изучают включения в металлах и минералах, диффузионные зоны в сплавах, коррозионные слои и др.

Лит.: Физические основы рентгеноспектрального локального анализа. Пер. с англ. М., 1973; Локальные методы анализа материалов. М., 1973; Электронно-зондовый микроанализ. Пер. с англ. М., 1974.

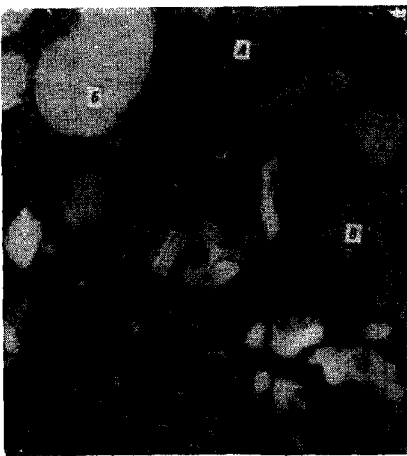
В. В. Горский, В. В. Немощкаленко.

МИКРОСТРУКТУРА БЕТОНА — структура бетона, выявляемая с помощью оптического или электронного микроскопа. М. б. (рис.) представляет собой многофазную систему, состоящую из связующего вещества микрокристаллического (или криптокристаллического в более ранние сроки твердения) строения с равномерно распределенными в нем зернами песка и крупного заполнителя, а также с более или менее мелкими порами, заполненными водными растворами минер. вещества и воздухом. Изучение М. б. позволяет определить: количество, минералогический состав и расположение

кристаллических и аморфных составляющих в связующем веществе; особенности, размер, расположение и количество *микропор* и *микротрещин*, степень их заполнения новообразованиями; минералогический состав, размер, форму и расположение зерен заполнителя, особенности их поверхности; особенности контактного слоя между связующим веществом и заполнителем и др. М. б. складывается из микроструктур составляющих: связующего (цементирующего) вещества (с распределенными в нем порами), заполнителя и контактного слоя между ними. Каждая из составляющих имеет определенные структурные элементы, влияющие на физ.-мех. свойства бетона. Одним из основных элементов М. б. является микропористость. Поры в бетоне отличаются разнообразной формой. Осн. из них: замкнутые, преим. округлые; каналообразующие — открытые с обоих концов и создающие т. о. микротрещины, поровые каналы (прямолинейные, извилистые, червеобразные и др.); тупиковые — открытые с одного конца, различной конфигурации. По величине различают: микропоры (поры геля) диаметром до $25-50 \text{ \AA}$, в основном замкнутые; переходные (контакционные) поры диаметром от

$25-50$ до $500-1000 \text{ \AA}$; макропоры диаметром более $500-1000 \text{ \AA}$; капиллярные поры, в основном открытые, и сообщающиеся поры, подразделяемые на микрокапиллярные диаметром $1000-5000 \text{ \AA}$ и макрокапиллярные диаметром $5000-50\,000 \text{ \AA}$. В бетоне обычно есть поры всех типов и размеров. Важным элементом М. б. является адгезионный (контактный) слой. В месте контакта зерен заполнителя и связующего могут наблюдаться: трещины; резко выраженная поверхность раздела; мех. коррозионная связь, вызванная мех. сцеплением (защемлением), что особенно характерно для бетонов на пористых заполнителях; хим. коррозионная связь, образованная в процессе хим. взаимодействия между контактирующими фазами заполнителя и связующей массы. В последнем случае в контактной зоне наблюдаются в основном кристаллические гидратные новообразования. Увеличение сроков твердения или применения процессов, ускоряющих твердение (напр., термообработки), приводит к уплотнению М. б. и улучшению физ.-мех. св-в бетона. Для бетона повышенной прочности (на цементе) характерны следующие структурные особенности: микрокристаллическая (вся цементирующая масса раскристаллизована) компактная структура цементирующей массы; равномерное распределение сообщающихся кристаллических гидратных новообразований, пронизывающих цементирующую массу, увеличение их количества и переход высокоосновных гидросиликатов в низкоосновные; улучшение *гидратации*, т. е. уменьшение количества и размеров негидратированных зерен клинкерных минералов и коррозионный контакт их с гидратированной массой; уплотнение структуры, отсутствие секущих микротрещин и сообщающихся пор или заполнение (залечивание) их гидратными новообразованиями; прочный хим.-коррозионный контакт между цементирующим веществом и зернами заполнителя, то есть наличие в адгезионном слое гидратных ново-

Микроструктура бетона: А — цементирующее вещество; Б — зерно крупного заполнителя; В — зерно мелкого заполнителя.



образований. Признаки пониженной прочности бетона: коллоидное или криптокристаллическое строение цементирующего вещества, пронизанного сообщающимися порами и микротрещинами; наличие обособленных скоплений кристаллических гидратных новообразований, создающих неоднородность структуры; микротрещины или резкая поверхность раздела в месте контакта цементирующего вещества и зерен заполнителя и т. д. Для изучения М. б. с помощью оптического микроскопа используют прозрачные или полированные шлифы (аншлифы), для изучения М. б. с помощью электронного микроскопа применяют реплики. Исследование М. б. наряду с изучением *макроструктуры бетона* позволяет сделать заключение о качестве, составе и особенностях исходных материалов, о правильности ведения технологических процессов получения бетона, выяснить причины его разрушения, судить о процессах формирования структуры бетона, способствовать получению бетона с заранее заданными свойствами.

Лит.: Минералого-петрографические исследования цементных камней и растворов. К., 1970; Технологии бетонных и железобетонных изделий. М., 1972.

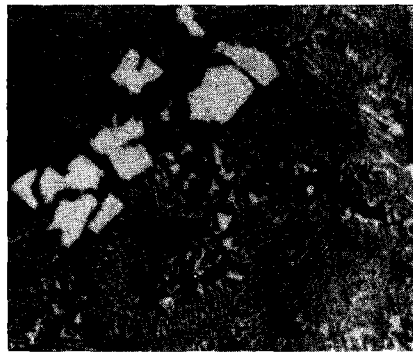
В. Г. Дымченко.

МИКРОСТРУКТУРА КЕРАМИКИ

—структура керамики, выявляемая с помощью оптического или электронного микроскопа. Различают микроstructures гомофазные (однофазные, состоящие из зерен одного вещества, отличающихся только формой и величиной) и гетерофазные (состоящие из двух и более фаз). Гомофазные микроstructures свойственны керамике из индивидуальных хим. соединений и *твердых растворов* в области их гомогенности. В зависимости от св-в изучаемого материала и цели анализа М. к. исследуют либо в отраженном (рис.), либо в проходящем свете. Для изучения микроstructures в отраженном свете шлиф готовят в такой последовательности: керамический образец обрабатывают на плоскость, используя шлифовальный круг, затем выбранный плоскость шлифуют абразивными порошками, полируют до

зеркального блеска и отсутствию видимых под микроскопом царапин и, наконец, подвергают хим. или термическому *травлению*. Шлиф для исследования микроstructures в проходящем свете имеет вид плоскопараллельной пластинки (толщиной примерно 0,02—0,04 мм), обычно накрытой покровным стеклом (для выравнивания ее микро рельефа). Иногда М. к. изучают на комбинарованных прозрачно-полированных шлифах. М. к. характеризуется: размером, формой и количественным распределением всех кристаллических или стекловидных фаз и *пор*; типом границ между кристаллами одной фазы и разных фаз; типом *пористости* (сферические поры или поры — отрицательные кристаллы и т. п.); тонким строением и степенью разориентации кристаллов; степенью микро неоднородности стекловидной фазы и др. При определении некоторых из этих характеристик применяют методы *микрорентгеноспектрального анализа*, люминесцентные методы и др. Для идентификации прозрачных фаз определяют в проходящем свете оптические константы веществ, используя иммерсионный метод. Исследования М. к. помогают устанавливать зависимость физ. и хим. свойств керамики от структуры, выявлять структурные изменения, происшедшие в результате некоторых физико-хим. процессов, напр. образования и распада твердых растворов, восстановления или окисления

Микроstructure керамики на основе хромита диспрозия: светлые промежуточные зерна — хромит диспрозия; темные участки — поры; свет отраженный, $\times 320$.

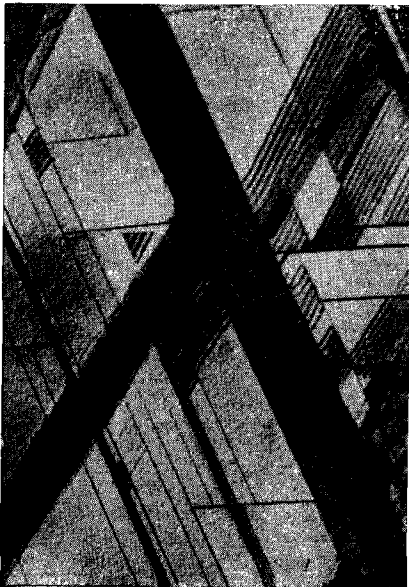


некоторых фаз. Наряду с термическим анализом исследование М. к. применяют для изучения диаграмм состояния.

Лит.: Карякин Л. И. Петрография огнеупоров. Х., 1962; Стрелов К. К. Структура и свойства огнеупоров. М., 1972; Ипсли Г., Фрешетт В. Д. Микроскопия керамики, цемента, стекол, шлаков и формовочных песков. Пер. с англ. М., 1960. А. В. Шевченко.

МИКРОСТРУКТУРА МЕТАЛЛА — структура металла, выявляемая с помощью оптического или электронного микроскопа. Возникает в результате нарушений строения кристаллической решетки. Осн. элементы М. м.: линейные (напр., *дислокации*), поверхностные (дефекты упаковки, *границы зерен*) и объемные дефекты (*субмикротрещины*, *поры*, различные фазы и т. д.), а также микросегрегации — концентрированные неоднородности на границах и внутри зерен. В многофазных и гетерогенных сплавах микроструктура характеризуется изменением фазового состава, размеров и формы частиц фаз, их распределением. По микроструктуре судят об изменении дислокационной

Микроструктура закаленного сплава железо — марганец (20%): сплошная полоса — эпсилон-фаза; линии в полосчатых участках — дефекты упаковки, $\times 25\ 000$.



структуры, размеров и формы зерен металла и частиц второй фазы под влиянием механического, термического или др. воздействия. Осн. цель изучения микроструктуры в текущем контроле — классификация фаз, определение их относительного содержания и распределения по размерам, установление размеров зерен. Все методы этого изучения основаны на том, что объем исследуемой фазы пропорционален относительной площади, занимаемой ею на шлифе. Если исследуется распределение частиц или зерен по размерам (что важно в связи с проблемами *упрочнения* и *дисперсионного твердения*), считается, что плоское сечение типично для трехмерного образца. Поэтому для анализа микроструктуры образец тщательно готовят (шлифуют, полируют), стремясь не исказить первичную структуру металла, а затем подвергают *травлению*. Методы травления (напр., химического, электролитического, вакуумного), определенные с учетом характера изучаемых элементов микроструктуры, основаны на различии их физико-мех. св-в. В *гомогенных структурах* это различие является следствием искажения кристаллической решетки в зоне ядра дислокации, образования на ней сегрегаций или атмосфер Коттрелла. В большей степени влияние таких микроискажений проявляется на границах блоков или зерен, представляющих собой области или зоны несовершенного контакта. Выявлению микроструктуры в поликристалле способствует различная травимость ориентированных зерен. Плотнупакованные плоскости *кристалла*, как правило, легче поддаются травлению, чем остальные его плоскости. В *гетерогенных структурах* элементы микроструктуры выявляются вследствие различной травимости фазовых смесей. Иногда некоторые ее элементы обнаруживают методом *декорирования*. Для изучения линейных и поверхностных дефектов микроструктуры (рис.) прямым методом используют просвечивающую электронную микроскопию высокого разрешения. Объемные элементы изу-

чают, используя фазоконтрастный метод (см. *Металлографический анализ*), стереомикрофотографию, сканирующие электронные микроскопы. Микросегрегации, в отличие от ликвационных неоднородностей, изучаемых с помощью анализа *микроструктуры металла*, обнаруживают *авторадиографическим анализом*, абсорбционной *микрорентгенографией*, *спектральным анализом*, *рентгеноспектральным анализом* и др. методами. Фазы в микроструктуре выявляют методами рентгеновской, электронной и нейтронной дифракции, *микрорентгеноспектральным анализом*, *пониженным микроанализом*, к-рые применяют отдельно или в совокупности с др. методами, напр. световой или электронной микроскопии. Поскольку М. м. определяет основные физико-мех. св-ва металла, методы их изменения (*термическая обработка*, *термомеханическая обработка* и др.) основаны на формировании соответствующей микроструктуры. Экспрессный анализ М. м. проводят с помощью автоматических приборов (напр., приборов для количественной металлографии), а также сравнивая изображения микроструктуры со стандартными микрофотографиями. Метод сравнения применяют для текущего контроля размеров зерна, содержания *неметаллических включений* и др. Анализ микроструктуры — один из основных методов физики твердого тела, физ. металловедения и термической обработки, применяемый в лабораториях машиностроительных и металлургических предприятий.

Лит.: Панченко Е. В. [и др.]. Лаборатория металлографии. М., 1965; Физическое металловедение, т. 2. Пер. с англ. М., 1968; Смолмен Р., Ашби К. Современная металлография. Пер. с англ. М., 1970. С. П. Оикадеров.

МИКРОТВЕРДОСТЬ — твердость отдельных микроструктурных составляющих или микрообъемов материала. Характеризует сопротивление материала упругому и пластическому деформированию, осуществляемому преим. вдавливанием в его поверхность твердого алмазного наконечника (индентора), имеющего обычно форму правильной че-

тырехгранной пирамиды с углом между противоположными гранями при вершине, равным 136° ; реже прибегают к царапанию материала. Иногда применяют инденторы др. форм: правильные трехгранные пирамиды — для получения отпечатков весьма малого размера; конусы и трехгранные пирамиды с различными углами при вершине — при испытаниях царапанием. Отличительной особенностью испытаний на М. по сравнению с обычными измерениями *твердости* являются очень малые нагрузки (до 500 гс) и соответственно малые глубина и размеры отпечатка (диагональ отпечатка обычно от 3 до 300, глубина его от 0,5 до 40 мкм). Испытанию на М. подвергают как очень мягкие материалы (твердость менее 1 кгс/мм²), так и весьма твердые типа алмаза (твердость более 10 000 кгс/мм²). Для измерения М. применяют настольный прибор ПМТ-3 с предметным столиком, на котором размещают исследуемый образец. Поворачивая столик, попеременно подводят выбранный под микроскопом участок образца то к острию алмазной пирамиды (для нагружения), то к объективу микроскопа (для измерения диагонали полученного отпечатка). Количественное значение М. определяют делением нагрузки на площадь боковой поверхности отпечатка. Если испытания осуществляют царапанием, то количественное значение М. оценивают по ширине царапины при обусловленной нагрузке или по величине нагрузки, необходимой для получения царапины заданной ширины. Часто М. определяют, измеряя глубину отпечатка. Созданы приборы, позволяющие проводить это измерение не только после снятия нагрузки (как в приборе ПМТ-3), но и непосредственно в процессе нагружения и под нагрузкой. Испытания на М. проводят при *физико-химическом анализе* и исследованиях в области металловедения (определении твердости кристаллов, фаз или различных участков зерен, изучении *диаграмм состояния* и строения двойных, тройных и более сложных сплавов, исследовании распределения *леггирующих материалов* и примесей в зерне, изучении *диффузии* в сплавах,

исследованиями движения дислокаций и т. д.), при определении твердости тонких поверхностных слоев металлов, св-ва к-рых изменились в результате мех. или химико-термической обработки (напр., при исследовании изменения св-в поверхностных слоев вследствие наклепа при мех. обработке, насыщения газами, науглероживания или обезуглероживания сталей), для определения твердости тонких гальванических покрытий, окисных пленок и т. д., для контроля качества мелких изделий (напр., деталей часов и приборов) и тонких полуфабрикатов (листов, лент, фольги, проволоки и т. д.), для определения твердости хрупких неметаллических материалов (минералов, стекол, эмалей, абразивных материалов, строительных и других материалов) и косвенной оценки хрупкости этих материалов, а также поверхностных слоев и покрытий (напр., по расположению и количеству трещин вокруг отпечатка).

Лит.: Хрущов М. М., Беркович Е. С. Приборы ПМТ-2 и ПМТ-3 для испытания на микротвердость. М., 1950; Глазов В. М., Вигдорovich В. Н. Микротвердость металлов и полупроводников. М., 1969; Новое в области испытаний на микротвердость. М., 1974. Е. И. Усков.

Микротрещина у поверхности болта из стали марки 1Х15Н4АМЗ-Ш, $\times 340$.



МИКРОТРЕЩИНЫ — трещины, выявляемые с помощью оптического микроскопа. Размеры их соизмеримы с элементами микроструктуры и измеряются тысячными долями миллиметра. Ширина (раскрытие) микротрещины переменна и уменьшается к концам ее до размеров, сравнимых с межатомными. Образование М. может происходить на разных стадиях изготовления материала и изделий (при литье, обработке давлением, резанием и т. д.), в процессе упрочняющей обработки, а также при разрушении изделий, предшествую распределению магистральной трещины. Зарождение и докритическое увеличение М. при нагружении изделий представляют собой первую стадию разрушения (рис.). Причиной образования М. является пластическая деформация, вызванная приложенным или возникшим в материале напряжением. В кристаллических телах под действием напряжения (вследствие взаимодействия дислокаций) возникает субмикротрещина, развивающаяся затем до микротрещины. Известно несколько дислокационных механизмов образования М., один из к-рых — образование М. в частицах карбидных или неметаллических включений, способствующих концентрации напряжений. Более 90% микротрещин в технических поликристаллических металлах возникает по этому механизму. На линии или вблизи М. существуют значительные напряжения, уменьшающиеся по мере удаления от нее. Количество, размеры и распределение М. определяют инкубационный период разрушения. В металлах почти всегда есть или появляются (на самых ранних этапах деформирования) микротрещины. Их количество в поверхностных слоях (порядка нескольких микрометров) в два-три раза больше, чем в объеме. При деформировании сосуществуют два процесса: образование микротрещин и их рост. М. обнаруживают с помощью ультразвуковой дефектоскопии, электроиндуктивной дефектоскопии, люминесцентного метода дефектоскопии и др., а также

при наблюдении структуры под микроскопом. Выбор метода определяется размерами, местом расположения М. и задачей исследования. М. не образуются, если устранены вызывающие их напряжения. В процессе же упрочняющей обработки может происходить смятие, залечивание М. и вместе с этим восстановление сплошности металла, обусловленное взаимодействием ограничивающих М. поверхностей.

Лит.: Роль дислокаций в упрочнении и разрушении металлов. М., 1965; Смирнов Б. П., Ярошевич В. Д. Современное представление о зарождении трещин. В кн.: Физическая природа хрупкого разрушения металлов. К., 1965; Финкель В. М. Физика разрушения. М., 1970.

В. С. Гнуцев.

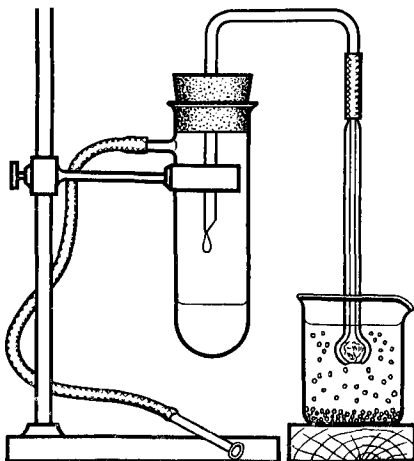
МИКРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ — анализ хим. состава материалов, в котором количество исследуемого вещества измеряется микродозами — миллиграммами или десятими долями миллилитра. Начало М. а. положено рус. ученым М. В. Ломоносовым, применившим в 1744 микроскоп для качественного анализа солей. В М. а. используют высокочувствительные и специфичные реакции, позволяющие обнаружить и определить составные части вещества даже при незначительном содержании их в растворе. Различают М. а. качественный и количественный. В качественном М. а. (см. *Качественный анализ*) реакции выполняют кристаллоскопическим или капельным методом. При кристаллоскопическом анализе реакции проводят на предметном стекле и о наличии того или иного иона (элемента) судят по характерной форме образующихся кристаллов, рассматриваемых под микроскопом при увеличении в 60–250 раз (см. также *Кристаллохимический анализ*). При капельном анализе применяют реакции, сопровождающиеся изменением окраски раствора или образованием осадков. Чаще всего их выполняют на полоске фильтровальной бумаги, на к-рую наносят по каплям в определенной последовательности исследуемый раствор и реагенты. В результате реакции на бумаге образуется окрашенное пятно, по цвету

его и судят о наличии в растворе определенного иона (см. также *Капельный анализ*). В количественном М. а. (см. *Количественный анализ*) наряду с высокочувствительными хим. методами используют физико-хим. и физ. методы — *спектрофотометрический анализ*, *фотометрический анализ*, *нефелометрический анализ* (см. *Фотометрические методы анализа*), *электрохимические методы анализа*, *экстракцию*, *хроматографический анализ*, *метод радиоактивных индикаторов* (см. *Методы атомов* в исследовании материалов) и др. методы, позволяющие определить искомое вещество до тысячных долей миллиграмма. Техника М. а. отличается особенностями, связанными с применением микровесов, микропипеток, микробюреток, приборов для микроэлектролиза, микрофильтрации (рис.), посуды малых объемов и др. М. а. применяют в научно-исследовательских, учебных, производственных хим. лабораториях при анализе металлов и их сплавов, минералов, руд и т. д. См. также *Полумикроанализ*, *Ультрамикрoхимический анализ*.

Лит.: Коренман И. М. Количественный микрохимический анализ. М.—Л., 1949; Маляров К. Л. Качественный микрохимический анализ. М., 1951; Тананайко Н. А. Капельный метод. М.—Л., 1954.

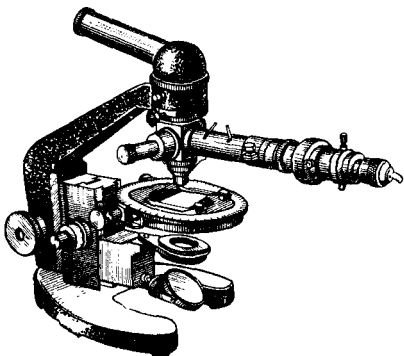
М. М. Тананайко.

Прибор для микрофильтрации, используемый в микрохимическом анализе.



МИЛЛЕРИТ [по имени англ. минералога У. Миллера (W. Miller)], NiS — минерал класса *сульфидов*. Хим. состав (%): Ni — 64,67; S — 35,33. Примеси: железо, кобальт, медь. Структура цепочечная, сингония тригональная, вид симметрии дитригонально-дипирамидальный. М. образует игольчатые кристаллы длиной до 15 мм (редко длиннее), волосявидные, радиальные и спутанно-волокнистые, реже — зернистые агрегаты. Кристаллы вытянуты по оси *c*, с продольной штриховкой, встречаются спирально закрученные вокруг оси *c*. Двойники по (0001) в виде пластинок; двойники скольжения по (0112). Спайность (см. *Спайность минералов*) совершенная по (1011) и (0112). Плотность 5,2—5,6 г/см³. Твердость 3—3,5. Хрупкий. Непрозрачный. Цвет (см. *Цвет минералов*) бледно-латунно-желтый, черта зеленовато-черная. Блеск металлический, сильный (см. *Блеск минералов*). В отраженном свете — светло-желтый; отражательная способность для зеленых лучей — 53, для оранжевых и красных — 54. Сильно анизотропен (см. *Анизотропия*), двуотражение в воздухе отчетливое. Хороший проводник электричества. Редко встречающийся минерал. В магматических медно-никелевых месторождениях наблюдается вместе с никелином, никелистым пиритом, халькопиритом и в др. более поздних минеральных ассоциациях, секущих основные руды. В жильных гидротермальных месторождениях образует скопления вместе с

Микроскоп МИН-9, используемый в минерографическом анализе.



сульфидами и арсенидами меди и кобальта, *галенитом*, *сфалеритом*, *ниоварью*, *кальцитом*, *кварцем* и др. Гипергенный М. образуется при сероводородном брожении в отложениях болотного типа и в некоторых угленосных толщах. М. получают сплавлением никеля и серы в струе азота в запаянной трубе при относительно низкой *t*-ре в смеси с др. сульфидами никеля или насыщением на холоду сероводородом водных растворов сульфата никеля и нагреванием без добавок свободных к-т. Из руд, содержащих М., добывают никель.

Лит.: Минералы. Справочник, т. 1. М., 1960; Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. К., 1966; Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., 1971.

С. В. Кузнецова.

МИНЕРАГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ — анализ руд и непрозрачных минералов в полированных шлифах в отраженном свете. Впервые применен в России в начале 20 в. Дает возможность диагностировать рудные минералы, изучать возрастные и генетические соотношения минер. агрегатов различного состава, устанавливать последовательность образования минералов, изучать явления метаморфизма руд (превращения под действием внутренних процессов в земной коре). М. а. необходим при выборе технологии обработки руд, а также в процессе изучения промежуточных продуктов для контроля обогащения. Особенно важен М. а. при исследовании мелкозернистых руд. Рудные минералы исследуют с помощью поляризационного микроскопа и рефлектора (опак-иллюминатора), к-рым направляют вертикально падающий свет на полированный шлиф. Наиболее совершенны микроскопы МИН-9 (рис.) и ПОЛАМ. Диагностика рудных минералов основана на изучении совокупности физ. и хим. свойств (отражательной способности, *цвета минералов* в отраженном свете, поляризации, *двуотражения*, *твердости*, *магнитности*, *электропроводности*, отношения к хим. реактивам) и установлений хим. состава с помощью микрохим. реакций. Чаще всего ис-

пользуют оптические св-ва, поддающиеся качественной и количественной оценке. Отражательную способность определяют сравнением яркости исследуемого минерала с яркостью соприкасающегося с ним минерала-эталоны (чаще всего *германия*, *карборунда*, *кварца*, *кремния*, *пирита*), используя сравнительный окуляр. Количественно отражательную способность измеряют фотометрическими и фотоэлектронметрическими методами, используя фотометрические насадки типа ФМЭ-1 и ПООС-1, устанавливаемые на микроскопе. Воспроизводимость измерений в насадке ФМЭ-1 не превышает 2—3%, в насадке ПООС-1 — 0,7—1% от измеряемой величины. Наименьший размер измеряемых зерен 0,02 мм. Цвет минералов устанавливают сравнением с эталонами (чаще всего с *галенитом* и *сфалеритом*), используя в основном сравнительный окуляр. Поляризацию изучают в отраженном поляризованном свете в скрещенных николях, устанавливая изотропность (см. *Изотропия*) или анизотропность (см. *Анизотропия*) минерала (при повороте столика микроскопа на 360° изотропные минералы остаются темными, у анизотропных же наблюдаются четыре положения минимума интенсивности освещения через каждые 90°). Ее выявляют исследованием поляризационных фигур изотропных и анизотропных минералов под микроскопом методом коноскопии. Для повышения разрешающей способности объектива и четкости изображения используют масляную иммерсию (обычно кедровое масло с показателем преломления 1,515). Анализ минералов, непрозрачных в видимой области спектра, осуществляют методом инфракрасной микроскопии, заключающемся в изучении полированных шлифов в инфракрасном свете с помощью фотоэлемента, чувствительного к инфракрасному излучению, и преобразователя отражений. По этому методу в ближнем инфракрасном свете определяют двупреломление, угол погасания, осность и угол оптических осей. Для изучения не-

прозрачных минералов в отраженном свете применяют электроннозондовый рентгеновский микроанализатор, с помощью к-рого исследуют микровключения, недоступные точной диагностике обычными микроскопическими методами. Кроме того, при диагностике минералов применяют метод количественного измерения твердости, к-рый используют также для изучения металлов и сплавов, для тонких исследований *монокристаллов*, для определения по твердости изменения хим. состава минерала.

Лит.: Бетехтин А. Г. О минералогии. «Известия АН СССР. Серия геологии», 1945, № 6; Вахрамеев С. А. Руководство по минералогии. Иркутск, 1956; Волынский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом, т. 1. М., 1966; Некоторые методы диагностики минералов и определение их физических свойств. М., 1970; Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. М., 1971; Юшко С. А. [и др.]. Диагностические свойства рудных минералов. М., 1975; Камерон Ю. Н. Рудная микроскопия. Пер. с англ. М., 1966.

А. А. Ясинская.

МИНЕРАЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы преимущественно на основе *окиси алюминия*. Пром. производство М. м. начато (1951) в СССР. По химическому составу их подразделяют на две группы: материалы, содержащие около 99% Al_2O_3 , и материалы, в к-рых содержится 5 ÷ 40% металлических компонентов. Материалы первой группы отличаются плотной мелкозернистой структурой, обуславливающей высокие физ.-мех., в т. ч. режущие, св-ва. В них, кроме преобладающей фазы, содержится небольшое количество магнезиально-глиноземистой *шпинели* и межкристаллитного стекла. Высокотемпературный нагрев таких материалов не сопровождается перераспределением *твердости* и *прочности* структурных составляющих. Практические — это однофазные поликристаллические материалы. Наиболее распространенным материалом первой группы является корундовый микролит марки ЦМ-332, характеризующийся высокой твердостью (90—93 *HRA*), *красноломкостью* (с т-ры 1200° С), хим. стойкостью, *теплостойкостью* и *износостойкостью*. Изготавливают его высокотемпературным спеканием (при т-ре 1710—1750° С) смеси тон-

омолотого тех. глинозема и окиси магнезия, к-рую добавляют как модификатор, позволяющий получать мелкозернистую однородную структуру. Ко второй группе относятся оксикарбидные и керамико-металлические материалы. Структура их более грубая: размер зерен окиси алюминия — 3—6 мкм, зерен карбидной фазы 0,5—3 мкм, а св-ва в зависимости от т-ры нагрева изменяются в большей степени вследствие окисления связующей фазы. Однако они обладают меньшей хрупкостью, чем материалы первой группы (см. также *Керамико-металлические материалы*). Изделия из М. м. формируют в основном прессованием порошка с пластификатором (3%-ным раствором каучука в бензине), а также горячим литьем (под давлением) масс, пластифицированных парафином или др. связующими, *экструзией*, изостатическим и горячим прессованием. М. м. применяют для изготовления режущих пластинок, используя резцы с многогранными и универсальными пластинками при полустойковой и чистовой обработке изделий из углеродистой и легированной стали и чугуна. Экономический эффект применения минералокерамического инструмента обуславливается (по сравнению с инструментом из твердых сплавов) значительно меньшей стоимостью и более высокими скоростями резания. Несколько ограничивает использование минералокерамического инструмента недостаточная однородность и прочность пластинок. М. м. применяют также в нефтяной промышленности (износостойкие насадки гидромониторных долот, горловины насосов пескоструйных аппаратов,

штуцеры фонтанной арматуры), для изготовления нитеводителей ткацких станков, вставок машин канатно-проволочного и кабельного производства. Кроме того, М. м. используют в приборостроении, электротехнике и атомной энергетике. Свойства М. м. регламентирует ГОСТ 6912—64.

Лит.: Кудрявцев Ю. Г., Меламед В. И., Мыльников А. С. Производство и применение минералокерамических изделий в машиностроении. М.—Свердловск, 1962; Голубев Б. П. (и др.). Конструкционные свойства корундового микролита при высоких температурах. «Теплофизика высоких температур», 1966, № 2; Калитин П. П., Харитонов Ф. Я. Минералокерамика ЦМ-332 как конструкционный материал в машиностроении. В кн.: Новые материалы в машиностроении. Л., 1967; Батыгин В. Н., Метелкин И. И., Решетников А. М. Вакуумно-плотная керамика и ее спай с металлами. М., 1973; Технология электрокерамики. М., 1974; Агте К., Колерманн Р., Хеймел Э. Минералокерамические режущие материалы. Пер. с нем. М., 1962.

Ф. Я. Харитонов.

МИНЕРАЛЬНАЯ ВАТА (франц. *mi-péral* — рудный) — вата из расплавленных металлургических шлаков или горных пород. Шлаковая вата впервые получена (1840) в Уэльсе, ее пром. произ-во организовано в 1864. М. в. состоит гл. обр. из *двуоксида кремния*, окислов алюминия, кальция и магнезия, в ней могут быть также окислы железа, марганца, щелочных металлов и других хим. элементов, а также сера в виде *сульфидов*, *сульфатов* и *сульфитов*. В зависимости от объемной массы и содержания корольков М. в. подразделяют на три марки (табл.). Для произ-ва ваты используют лег-

Свойства минеральной ваты

Марка ваты	Объемная масса (под нагрузкой 0,02 кгс/см ²), кг/м ³ , не более	Содержание корольков размером более 0,25 мм, %, не более	λ, ккал/м ч град			Средний диаметр волокон, мкм, не более	Влажность, %, не более	Содержание серы, %, не более	Модуль кислотности (отношение суммы масс окиси кремния и алюминия к сумме масс окиси кальция и магнезии), не менее	Содержание органических добавок, %, не более
			25±5° С	100° С	300° С					
75	75	12	0,036	0,050	0,092	6	2	1	1,2	1
100	100	20	0,038	0,050	0,088	8	2	1	1,2	1
125	125	25	0,040	0,052	0,090	8	2	1	1,2	1

коплавкие красные глины, карбонатные горные породы (напр., известняк, мергель), магматические горные породы (базальт, габбро, диабаз, диорит, сиенит) и метаморфические горные породы (глинистый и хлоритовый сланцы). Получают ее дутьевым, центробежным (наиболее экономичным) или центробежно-дутьевым способом из расплава, полученного в вагранке, либной или электродуговой печи, либо из огненно-жидких шлаков. М. в. используют для изготовления теплозвукоизоляционных изделий, а также в качестве теплозвукоизоляционного материала при т-ре изолируемых поверхностей до 600° С. Выпускают М. в. в соответствии с ГОСТом 4640—66.

Лит.: Тобольский Г. Ф. Минеральная вата и изделия из нее. Челябинск, 1968; Китаецев В. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1970.

Е. Н. Денбовецкая.

МИНЕРАЛЬНЫЕ КРАСКИ, пигменты (лат. pigmentum — краска) — краски минерального происхождения, нерастворимые в воде и органических растворителях. Один из древнейших материалов. Представляют собой гл. обр. окислы и соли различных металлов или их смеси. При смешивании с растворителями образуют красочные составы. М. к. подразделяют на ахроматические (белые, серые, черные) и хроматические (цветные). К белым краскам относятся белила, мел и известь, к серым — цинковая пыль и алюминиевая пудра, к черным — гл. обр. сажа и графит; к желтым, оранжевым и красным — желтый свинцовый крон ($PbCrO_4 \cdot nPbSO_4$), оранжевый свинцовый крон ($PbCrO_4 \cdot PbO$), желтый кадмий (CdS), красный кадмий ($CdS \cdot CdSe$), киноварь (HgS), железистоокисные краски, сурик, охра и мумия; к зеленым, синим и фиолетовым — окись хрома (Cr_2O_3), изумрудная зелень ($Cr_2O_3 \cdot nH_2O$), лазурь и ультрамарин, к коричневым — умбра. Различают также М. к. природные и синтетические. К наиболее распространенным природным М. к. относятся охра, сиена, мумия железный сурик, умбра и марганце-

вая окись железа. Охра представляет собой гидрат окиси железа с примесью глины. Отличается высокими свето- и атмосферостойкостью, стойкостью в щелочах и слабых к-тах (см. также Охра). Сиена — смесь гл. обр. окислов железа, алюминия, кремния и марганца. Отличается от охры повышенным содержанием железа и гидратной воды и меньшим содержанием или полным отсутствием глины, вместо которой в состав краски входит кремнекислота. По свойствам близка к охре. Цвет сиены — желто-коричневый с различными оттенками. Мумия представляет собой окись железа (20—70%) с примесями гипса, углекислого кальция, кварца и алюмосиликатов. Отличается высокими свето- и атмосферостойкостью, стойкостью в щелочах и слабых к-тах, большой укрывистостью (кроющей способностью) и интенсивностью (способностью придавать свой цвет смесям красок). Цвет мумии — от светлого до темного коричнево-красного. Получают ее обжигом болотных руд (состоящих в основном из гидроокиси железа); высокожелезистых бокситов и бурых железняков. Железный сурик — смесь окиси железа (75—95%) с небольшим количеством глинистых веществ и кварца. Отличается высокими свето- и атмосферостойкостью, стойкостью в щелочах и слабых к-тах. Укрывистость и интенсивность высокие. Получают его размолотом железных руд, богатых окисью железа (см. также Сурик). Умбра представляет собой смесь глинистого вещества с окислами марганца (8—16%) и железа (35—50%). Отличается аморфной структурой, большой адсорбционной способностью (см. Адсорбция), чувствительна к нагреванию. Получают умбру из марганецсодержащих железных руд (см. также Умбра). Марганцевая коричневая краска — смесь окислов марганца (10—20% в пересчете на MnO_2) и углекислого кальция. Щелочестойка. Цвет от светло-коричневого до темно-коричневого, переходящего в черный. К синтетическим М. к. относятся гл. обр. высокотемпературные керамические краски, лазурь, свинцовый сурик, синтетический ультрамарин и белила. Высокотемператур-

преим. на основе *шпинели*, *циркона*, *гранатов*, *корунда*, *виллемита* и *муллита*, замещаая в них частично или полностью ионы одних элементов на ионы других, напр. Al^{3+} на Cr^{3+} (см. также *Керамические краски*). Лазурь представляет собой железную соль железисто-синеродистой к-ты. Отличается высокими *влагостойкостью* и *кислотостойкостью*, не стойка к действию щелочей. Получают краску осаждением соли двухвалентного железа (см. также *Лазурь*). Свинцовый сурик — смесь окислов свинца. Отличается высокими атмосферостойкостью и коррозионной стойкостью. Под действием солнечного света и сернистых газов цвет свинцового сурика быстро становится серым. Получают краску окислением свинцового глета или паров свинца. Синтетический ультрамарин представляет собой алюмосиликат натрия, содержащий связанную серу. Отличается свето- и воздухостойкостью, стойкостью к действию щелочей, извести в высоких т-р, растворяется в к-тах. Получают краску прокаливанием смеси каолина, безводных сульфата и карбоната натрия, серы и древесного угля (см. также *Ультрамарин*). Белила — белые краски, представляющие собой в основном окислы и соли металлов (см. также *Белила*). М. к. используют для малярных работ, в живописи, в производстве резины, бумаги, линолеума, стекла, керамики, цемента.

Лит.: Толстухина К. И. Природные пигменты Советского Союза, их обогащение и применение. М., 1963; Визир В. А., Мартынов М. А. Керамические краски. К., 1964; Туманов С. Г. Новые пути синтеза и классификации керамических пигментов. «Стекло и керамика», 1967, № 6; Климанова Е. А., Барщевский Ю. А., Жилкин И. Я. Силикатные краски. М., 1968; Бездоровов М. А. Химия и технология древних и средневековых стекол. Минск, 1969; Беденький Е. Ф., Рискин И. В. Химия и технология пигментов. Л., 1974. Н. Ф. Смакота.

МИШМЕТАЛЛ (от нем. *mischen* — смешивать) — сплав металлов группы *редкоземельных элементов* — лантаноидов. Применяется с середины 20 в. В СССР изготавливают М. трех марок (табл.): МЦ (М. цериевый), МЛ (М. лантановый) и ФЦ (*ферроцерий* — сплав М. с железом). Со-

держание в М. железа может быть уменьшено до 2%. Кроме того, выпускают сплавы М. с магнием: ФЦМ-5 (не менее 45% Ce; 4,5—7% Mg; 10% Fe; остальное — другие редкоземельные металлы) и ММ-5 (4—7% Mg; до 2% Fe; остальное — другие редкоземельные металлы). М. получают электролизом расплавленных *хлоридов* щелочных металлов и безводного хлорида соответствующего редкоземельного металла. При получении сплавов М. с магнием в электролит вводят соединения магния. Разработан также способ получения М. электролизом фторидно-окисных электролитов с использованием в качестве исходных окислов редкоземельных металлов, растворенных в смеси фтористых солей. Электропечным алюминотермическим способом получают сплав М. с кремнием — т. н. силикомिशметалл: Симип-1 (не менее 25% редкоземельных металлов, не более 10% Al и не более 50% Si, остальное — железо) и Симип-2 (не менее 30% редкоземельных металлов, не более 40% Al и не более 35% Si, остальное — железо). Поставляют М. в виде слитков с гладкой или рифленой поверхностью. М. применяют гл. обр. для повышения качества и улучшения св-в чугунов, сталей и цветных сплавов. Так, сплав ФЦМ-5 используют для *модифицирования* чугуна и стали, сплав ММ-5 — для *легирования* магниевых сплавов. М. выпускают в соответствии с ЦМТУ 05—20—67, силикомिशметалл — ЧМТУ — 1—36—66.

Лит.: Боголюбов В. А., Меркулова Р. Ф. Лигатуры с редкоземельными металлами. В кн.: *Легированные сплавы*. М., 1967. В. Д. Краля.

Химический состав мишметаллов

Марка мишметалла	Содержание элементов, %				
	Редкоземельных металлов (сумма)	Ce + La, не менее	Из них		Fe, не менее
			Ce	La	
			не менее		
МЦ	93	75	70	—	7
МЛ	93	75	—	35	7
ФЦ	90	—	—	—	10

МОДИФИКАТОРЫ — то же, что и *модифицирующие материалы*.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ (от лат. *modifico* — устанавливаю меру) — введение в расплав *модифицирующих материалов*, влияющих на процесс *кристаллизации*. В пром. масштабах используется с 30-х гг. 20 в. Способствует в процессе кристаллизации измельчению структуры, изменению формы, размеров и распределения *неметаллических включений* либо *графита* (в чугунах) и тем самым улучшению мех. св-в сплавов. В отличие от *микролегирования*, когда увеличение количества добавок приводит к обычному *легированию*, при М. действие присадок сводится лишь к изменению условий кристаллизации и отличается от *легирующего* сравнительно кратковременностью при выдержке металла. Вследствие этого увеличение количества добавок сверх необходимого либо невозможно (из-за малой *растворимости* или *летучести*), либо неэффективно, либо вредно (*перемодифицирование*). Иногда при смешивании двух различных расплавов наблюдается явление жидкого модифицирования. М. связано с некоторыми особенностями кристаллизации расплава, в к-ром возможны растворение, выделение, *коагуляция* и всплывание *неметаллических включений*, поглощение и выделение газов и др. Чем чище расплав, тем меньше он склонен к кристаллизации. В *передпереходном* (*инкубационном*) периоде его жидкая фаза «подготавливается» к кристаллизации. Затем, при т-ре, близкой к т-ре кристаллизации, в расплаве образуются совокупности атомов — *сикботактические группы*. Их возникновение облегчается флуктуациями (неоднородностью состава, неравномерностью распределения тепла и энергии), зависящими от т-ры и в *передпереходном* периоде тем более выраженными, чем ниже т-ра жидкой фазы. Для образования зародыша кристалла, помимо наличия флуктуационных совокупностей, необходимо переохлаждение расплава несколько ниже равновесной т-ры перехода из жидкого в

твердое состояние, к-рую указывают *диаграмма состояния* сплава. Зародыши могут быть стойкими (т. е. расти) и нестойкими (т. е. растворяться). Стойкими они становятся только после достижения определенного (*критического*) размера. В заданных условиях скорость их роста может быть различной для разных граней кристалла. Модификаторы в одних случаях увеличивают число зародышей и тем самым способствуют получению мелкозернистой структуры, в других — уменьшают скорость роста кристаллов, изменяя их форму и размеры. Кроме улучшения мех. св-в, М. повышает *технологичность* сплавов при литье и обработке давлением (см. *Модифицированные материалы*), позволяет увеличивать степень легирования нек-рых сплавов и создавать новые антикоррозионные, высокопрочные и *жаропрочные материалы*, получать спец. стали и чугуны (см. *Модифицированная сталь*, *Модифицированный чугун*). Различают М. первого рода, обуславливающее измельчение зеренной структуры сплавов в результате образования на растущих кристаллах поверхностной пленки, препятствующей их росту, и М. второго рода, связанное с измельчением структуры в результате искусственного увеличения числа центров кристаллизации. М. первого рода осуществляют с помощью модифицирующих материалов, к-рые могут адсорбироваться (см. *Адсорбция*) на гранях зарождающихся кристаллов и тормозить их рост, образуя барьер между кристаллами и расплавом. Поскольку адсорбция происходит неравномерно на всех гранях, форма кристаллов изменяется. При введении таких модификаторов возможны также хим. реакции, в результате к-рых могут образоваться либо зародыши кристаллов, либо пленки, ограничивающие рост кристаллов. М. второго рода осуществляют с помощью модификаторов, образующих в расплаве высокодисперсную, иногда коллоидно-дисперсную «взвесь», частицы к-рой служат центрами кристаллизации. По характеру конечных структурных изменений различают М. первого вида, приводящее к изменению первичных зерен (*денд-*

ритов и др. продуктов первичной кристаллизации); М. второго вида, связанное с изменением внутренней структуры первичных зерен дендритов, и М. третьего вида, обуславливающее изменение структуры *эвтектики*. Модификаторы вводят в ковш или в струю металла, выпускаемого из печи, используя (для легко испаряющихся или с малой плотностью модификаторов) колышки или иные приспособления, чтобы обеспечить их полное взаимодействие с расплавом, либо непосредственно в литейную форму. Эффект, подобный М., можно получить также при ультразвуковой обработке, наложении электромагн. поля и др. физ. методах воздействия на расплав.

Лит.: Кузнецов В. Д. Кристаллы и кристаллизация. М., 1954; Бочвар А. А. Металловедение. М., 1956; Семенченко В. К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. М., 1957; Гольдштейн Я. Е. Микролегирование стали и чугуна. М. — Свердловск, 1959; Мальцев М. В. Модифицированные структуры металлов и сплавов. М., 1964; Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М. — Л., 1966. К. И. Ващенко.

МОДИФИЦИРОВАННАЯ СТАЛЬ — сталь, подвергнутая *модифицированию*. Используется с 30-х гг. 20 в. Отличается хорошей *жидкотекучестью*, малой *усадкой*, большой *плотностью*, улучшенными микро- и макроструктурой, физикомех. св-вами; содержит незначительное количество вредных примесей. Различают М. с. гл. обр. конструкционную (см. *Конструкционная сталь*), инструментальную (см. *Инструментальная сталь*), жаропрочную (см. *Жаропрочная сталь*) и нержавеющую (см. *Нержавеющая сталь*). В качестве *модифицирующих материалов* используют элементы (напр., магний, литий и кремний) или их сочетания, эффективно влияющие на энергетическое состояние *границ зерен* и термодинамически активные к примесям и добавкам, *ферросплавы* (ферробор, ферроцерий, феррованадий), редкоземельные металлы и их сплавы (церий, лантан, *мишметалл*, силикокальций и др.) и различные соединения (напр., окись церия, нитрид ванадия). Их вводят при выплавке или разливке стали. М. с. чаще всего используют в литом состоянии, поскольку

модифицирующие материалы наиболее эффективно изменяют св-ва литого металла. Так, в стали марки 35Л, модифицированной редкоземельными металлами, повышаются *пластичность* (в полтора раза) и *ударная вязкость* (в два раза). После *термической обработки* они становятся еще выше. Модифицирование стали марки Х23Н18Л церием и бором увеличивает *долгительную прочность*, стойкость к образованию трещин (в несколько раз). Послековки или прокатки М. с. целесообразно применять, если улучшаются технологические, физико-мех. или эксплуатационные св-ва. Так, высоколегированная аустенитная сталь марки Х14Н18В2 не использовалась для крупных поковок из-за плохой технологической пластичности. Присадка в эту сталь ниобия в сочетании с бором и церием способствовала получению качественных поковок. Бор в низколегированной конструкционной стали значительно увеличивает *прокаливаемость*, редкоземельные металлы понижают чувствительность к образованию *флокенов*. Ванадий изменяет габитус и состав *неметаллических включений*, что дает возможность использовать модифицированную сталь для электрошлаковой сварки.

Лит.: Браун М. П., Курклис Г. Л., Дурдо М. Т. Модифицированная быстрорежущая сталь. К. — М., 1956; Гольдштейн Я. Е. Микролегирование стали и чугуна. М. — Свердловск, 1959; Завьялов А. С., Сандомирский М. М. Машиностроительные стали с редкоземельными присадками. Л., 1969; Крещановский Н. С., Сидоренко М. Ф. Модифицирование стали. М., 1970.

Б. Б. Винокур.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ — материалы, подвергнутые *модифицированию*. В пром. масштабах используются с 30-х гг. 20 в. К М. м. относятся *модифицированная сталь*, *модифицированный чугун* и модифицированные цветные металлы и сплавы. В слитках или отливках М. м. содержатся мелкие равноосные зерна, тогда как в немодифицированных материалах преобладает крупнокристаллическая *дендритная структура*. В М. м.

уже при малых концентрациях *модифицирующих материалов* (0,01—0,05%) происходит эффективное измельчение зерна. Кристаллизация из большого количества искусственно созданных (образованных) центров приводит к резкому измельчению зерна в отливках и устранению зональности в их строении. При дальнейшем увеличении содержания модификатора отмечается незначительное измельчение зерна (сталь, алюминия сплавы, титана сплавы) или наблюдается эффект укрупнения зерна (магния сплавы, медь сплавы). В титановых сплавах, модифицированных карбидами молибдена или вольфрама, также наблюдается некоторое измельчение зерна, но структура остается неравномерной вследствие трудности равномерного распределения их по сечению отливки. Наряду с измельчением микроструктуры заметно улучшается внутреннее строение М. м. В магниевых сплавах отмечается раздробление и более равномерное распределение фазы Mg_2Al_3 ; в медных сплавах при введении бора и вольфрама наблюдается заметное увеличение альфа-твердого раствора и уменьшение количества *эвтектики*; в титановых сплавах при введении бора или бора совместно с цирконием — заметное измельчение бета-зерна. При введении в медные сплавы титана, циркония и ванадия, наоборот, увеличивается содержание эвтектики, а для продуктов распада характерно более тонкое строение. В микроструктуре деформированных полуфабрикатов из М. м. более мелкое зерно по сравнению с полуфабрикатами из немодифицированных материалов. Вследствие структурных изменений, происходящих в М. м., в литом состоянии наблюдается заметное повышение относительного удлинения (иногда на 40—50% и более, напр. в чугунах при изменении формы графита на шаровидную в 3—40 раз) при обычных и повышенных температурах, а пределы прочности и текучести в М. м. выше на 1—10 кгс/мм² (в чугунах — в два — пять раз). В деформированных полуфабрикатах из М.

м. заметны повышение относительного удлинения и сужение при одновременном некотором увеличении прочностных характеристик, в т. ч. усталостной прочности, и уменьшении разброса значений мех. свойств. Модифицирование позволяет повысить технологические свойства сплавов при литье и обработке давлением, интенсифицировать плавление и улучшить мех. свойства, особенно повысить пластичность, коррозионную стойкость, уменьшить склонность к трещинообразованию в сварных швах и в отливках. В модифицированных чугунах размер эвтектического зерна в два — пять раз меньше по сравнению с размером зерна в немодифицированном чугуне, что является результатом увеличения количества зародышей графита. При введении модификаторов в литейные алюминиевые, магниевые или титановые сплавы происходит резкое измельчение внутреннего строения зерен. В этих сплавах интерметаллические фазы, напр. β -(Mg_5Al_8) — магниевые сплавы, θ -($CuAl_2$) — алюминиевые сплавы, карбидные — титановые сплавы, кристаллизуются вторично и располагаются в междоузельных пространствах *дендритов*, что приводит к измельчению их и более равномерному распределению по объему отливки. Измельчение внутреннего размера зерна связано с затрудненным ростом зерен-дендритов, которое создается при введении добавок, вследствие образования адсорбционных и барьерных пленок, изолирующих кристалл от осн. металла. В отливках модифицированных сплавов наблюдается резкое повышение мех. свойств, обусловленное более быстрым и полным растворением измельченных интерметаллических фаз, по сравнению с отливками немодифицированных сплавов с грубыми включениями этих фаз. Прирост показателей мех. свойств определяется степенью измельчения этих фаз. Для модифицирования сплава алюминия эвтектического типа широкое применение находят смесь фтористых и хлористых солей щелочных металлов (2—3% от массы шихты) или небольшие (0,02—0,05%) присадки титана, бора и других элементов. В модифицированных *силуминах*

ряды кремния происходят измельчение зерен-колоний эвтектики за счет образующихся частиц тугоплавких соединений, которые служат зародышами для формирования дендритов алюминия. При модифицировании сплавы эвтектического и заэвтектического состава становятся по структуре доэвтектическими, а сама эвтектика принимает мелкозернистое строение. В зависимости от условий модифицирования и концентрации модификатора в модифицированных силуминах могут наблюдаться отклонения от нормальных структур — «немодифицированная» и «перемодифицированная» структуры, которые характеризуются их резким огрублением. В модифицированных силуминах значительно выше предел прочности (на 4—5 кгс/мм²) и относительное удлинение (на 8—10%) по сравнению с немодифицированными; при этом эффект модифицирования изменяется с увеличением содержания кремния. Модифицирование легкоплавких эвтектик в медных сплавах может осуществляться цирконием, кальцием или церием, которые вводят в количестве 0,05—0,10%. При введении этих элементов в медные сплавы структура легкоплавких эвтектик качественно изменяется, основу ее составляют медь и мелкие включения новых структурных образований, тогда как в немодифицированных сплавах структура состоит из сплошных эвтектических прослоек. Отмеченные структурные изменения сопровождаются существенным улучшением технологических и мех. свойств модифицированных медных сплавов. Так, относительное удлинение увеличивается в два-три раза при практически постоянном пределе прочности. Модифицированная медь лучше поддается пластическому деформированию, и на листах практически отсутствует брак по рваной кромке, тогда как немодифицированная медь разрушается при первом проходе через валки и дальнейшая прокатка невозможна. В модифицированных медных сплавах полностью устраняется трещинообразование при литье слитков и значительно повышается сопротивление ползучести при высоких т-рах.

Лит.: Мальцев М. В. Модифицирование структуры металлов и сплавов. М., 1964; Бор, кальций, ниобий и цирконий в чугунах и сталях. Пер. с англ. М., 1961.

В. И. Напалков.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ЧУГУН — чугун, подвергнутый модифицированию. Используется с 30-х гг. 20 в. Отличается от обычного серого чугуна лучшими мех. св-вами, что позволяет уменьшать массу изделий, повышать срок их службы и, кроме того, заменять иногда стальные отливки и поковки отливками из этого чугуна. К М. ч. относятся серый чугун (марок СЧ 28-48; СЧ 32-52; СЧ 36-56; СЧ 40-60; СЧ 44-64), высокопрочный чугун с шаровидным графитом, жаростойкий чугун (марок ЖЧХ-0,8; ЖЧХ-1,5; ЖЧХ-2,5; ЖЧСШ-5,5; ЖЧСЮ-22), антифрикционный чугун (некоторые марки), ковкий чугун (к модифицированию которого прибегают для некоторого сокращения длительности отжига).

Модифицирующие материалы вводят (0,1—0,8, иногда до 1%) в жидкий чугун, вследствие чего улучшаются форма и распределение графита, структура металлической основы и, следовательно, повышаются его мех. св-ва. У серого модифицированного чугуна перлитная (см. Перлит в металловедении) или сорбитная (см. Сорбит) металлическая основа с мелким, захваченным, равномерно распределенным графитом пластинчатой формы. У модифицированных высокопрочных и ковких чугунов может быть ферритная основа (см. Феррит), у них высокие пластические св-ва. Структура легированных и термически обработанных М. ч. — бейнитная (см. Бейнит), трооститная (см. Троостит), мартенситная (см. Мартенсит) или аустенитная (см. Аустенит) — в зависимости от количества и состава легирующих материалов или от режима термообработки. Осн. элемент, определяющий хим. состав М. ч., — кремний. Влияние остальных химических элементов учитывают, исходя из содержания кремния и углерода. Содержание кремния в сером М. ч. должно быть несколько ниже «критического», т. е.

такого количества, при котором начинается интенсивное графитообразование. Содержание углерода в чугуне уменьшают добавкой в шихту стали. Содержание углерода и кремния определяют ориентировочно из уравнения $C + Si = 5,5 - lg \delta$, где δ — толщина отливки в миллиметрах. В жидком чугуне в виде суспензий и эмульсий находятся остатки графита, неметаллические включения, хим. соединения, газы и т. д., вследствие чего его кристаллизацию рассматривают как кристаллизацию вынужденную, протекающую с большим или меньшим воздействием всегда содержащихся в жидкой фазе активных центров. Очистка жидкого чугуна от включений или, наоборот, искусственное либо естественное загрязнение ими в значительной степени изменяет условия кристаллизации и прежде всего условия образования графита. Условия кристаллизации изменяют модифицированием (введением активных зародышей, облегчающих образование или изменение формы и распределения графита), обработкой шлаками или смесями солей (что приводит к удалению из чугуна включений определенного типа), перегревом или выдержкой жидкого чугуна при достаточно высокой т-ре (что способствует растворению или изменению природы включений), изменением условий охлаждения (с переохлаждением сплава иными становятся активность и характер воздействия зародышевой фазы). При получении М. ч., наряду с модифицированием, используют перегрев, *легирование*, добавляют стальной лом. Чтобы модификаторы растворились, т-ра чугуна должна быть выше $1350^\circ C$. Крупные куски модификатора растворяются трудно, а мелкие куски окисляются и выдуваются, вследствие чего размер их выбирают в зависимости от емкости ковша. Для обработки чугуна в ковшах емкостью до 50 кг чаще всего используют куски модификатора размером 2—5 мм, для ковшей до 100 кг — 5—10 мм, для больших ковшей — 15—20 мм. После модифицирования чугуна перемешивают и выдержи-

вают в ковше для растворения модификатора и взаимодействия его с чугуном. Однако при чрезмерно длительной выдержке или при длительной разливке может наступить демодифицирование. Если это произойдет, осуществляют двойное модифицирование (повторно добавляют модификатор). Действие модификатора контролируют по клинковой пробе; контрольные пробы отливают через 5—15 мин. Во избежание демодифицирования в процессе получения крупных отливок модификатор вводят под струю металла, заполняющего литниковую чашу. Иногда его вводят под струю металла на желоб во время выпуска из плавильного агрегата, применяя спец. дозаторы. Хим. состав модификаторов (графитизирующих, стабилизирующих и комплексных) разнообразен. В качестве графитизирующих модификаторов используют силикокальций, высокопроцентный ферросилиций, графит серебристый и лигатуры (силикокальций — титан, кремний — марганец — цирконий, кремний — марганец — кальций и др.), в качестве стабилизирующих модификаторов — лигатуры (хром — марганец — кремний, феррохром — кремний и др.), в качестве комплексных модификаторов — лигатуры (напр., никель — кремний, кремний — алюминий — кальций, кремний — марганец — алюминий — кальций — барий). Избыточное количество алюминия (более 0,15%) приводит к образованию в отливках газовых раковин. Чугун модифицируют также продувкой порошкообразным карбидом кальция или газами (метаном, природным газом, азотом, аргоном и т. п.). Иногда применяют жидкое модифицирование — добавление к чугуну жидкой стали (15—20%), смешивание белого чугуна (25%) и обычного серого (75%) или выплавляют чугун из шихты, составленной из белого и серого чугунов. Применение графитизирующих и стабилизирующих модификаторов позволяет плавить чугун из единой шихты. Графитизирующие модификаторы вводят в ковш при получении тонкостенных отливок, стабилизирующие — при получении толстостенных. Усадка М. ч. больше усадки серого чугуна,

продуктность по сечению отливки значительно выше. Высокопрочный чугуны с шаровидным графитом получают модифицированием магнием, церием, кальцием, редкоземельными металлами, лигатурами и комплексными модификаторами. Для сокращения длительности отжига ковкого чугуна при произ-ве мелких и средних отливок в качестве модификаторов применяют алюминий и силико-кальций; при этом число центров выделений графита возрастает (в 15—20 раз), а ср. диаметр их уменьшается (со 150—250 до 30—60 мкм). Графитизирующая способность алюминия выше (примерно в 10 раз), чем кремния и углерода. Ковкий чугун для получения крупных и разностенных отливок модифицируют смесью бора, висмута и алюминия (по 0,0015—0,0070% каждого). Висмут применяют в виде гранул, бор — в виде борной к-ты, при нагреве разлагающейся на окись бора и пары воды. Пары перемешивают чугун, а окись бора ошлаковывает включения и образует карбиды и нитриды бора. Если содержание кремния повышено, ковкий чугун модифицируют висмутом и сурьмой, чтобы предотвратить выделение графита в отливках (до отжига) и сократить цикл отжига. Кроме того, модифицирование ковкого чугуна сурьмой (0,05—0,06%) способствует получению перлитной основы и, следовательно, повышению износостойкости. Состав и количество вводимых модификаторов зависят от хим. состава ковкого чугуна, т-ры, применяемых плавильных агрегатов и необходимой структуры отливок. Из М. ч. изготавливают высоконагруженные изделия: коленчатые валы, шестерни, детали турбин и т. п.

Лит.: Ващенко К. И. Модифицированный чугун. М., 1946; Богачев И. Н. Основы модифицирования чугуна. Свердловск — М., 1948; Гиршович Н. Г. Чугунное литье. Л.—М., 1949; Ващенко К. И., Софронов Л. А. Магнийевый чугун. М.—К., 1960; Ланда А. Ф. Основы получения чугуна повышенного качества. М., 1960; Ключев Н. И. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. М., 1963; Богачев И. Н., Давыдов Г. С., Рожкова С. Б. Графитизация и термическая обработка белого чугуна. М., 1964; Гиршович Н. Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. М.—Л., 1966; Васильев Е. А. Отливки из ковкого чугуна. М., 1976. К. И. Ващенко.

МОДИФИЦИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, модификаторы — материалы для модифицирования. В пром. масштабе используются с 30-х гг. 20 в. Различают модификаторы, создающие в сплаве дополнительные центры кристаллизации (инокуляторы), и модификаторы, препятствующие росту зерна (ингибиторы). Для каждого металла и его сплава есть определенный модификатор, введение которого обеспечивает макс. эффект измельчения зерна и оптимальные технологические и мех. свойства. В качестве модификаторов *алюминия сплавов* применяют титан, бор, ниобий, цирконий и совместную добавку титана и бора.

Наибольшее влияние на размер зерна в слитке оказывает совместная добавка титана и бора, меньшее (в порядке убывания) титан, бор, ниобий и цирконий. Самое большое практическое значение как модификатор имеет титан, оказывающий сильное воздействие на структуру и являющийся самым экономичным. Обычно его вводят 0,02—0,10%. Все более широкое применение находят совместные добавки титана и бора (соответственно 0,02—0,04 и 0,005—0,01%). Ниобий и цирконий стабильно измельчают зерна при концентрациях 0,10—0,20%. Модификаторами для *силуминов* служат мех. смеси солей 33%-ного хлористого натрия и 67%-ного фтористого натрия или 62,5%-ного хлористого натрия, 12,5%-ного хлористого калия и 25%-ного фтористого натрия, введение которых обычно составляет 2,0% от массы шихты. Измельчение зерна в слитке сопровождается улучшением мех. и технологических свойств сплава. В качестве модификаторов *магния сплавов* используют цирконий, титан, ванадий, бор и совместную добавку титана и бора. Наибольшей модифицирующей способностью отличается совместная добавка титана и бора, меньшей (в порядке убывания) бор, цирконий, ванадий и титан. В слитках магниевых сплавов весьма эффективное измельчение наблюдается уже при малых концентрациях (0,03—0,05%)

этих добавок. Цирконий (0,2—0,9%) в магниевых сплавах благоприятно влияет на жаропрочность, вследствие чего служит обязательной добавкой в сплавах марок МА12, МА14 и МА15. Его не используют для модифицирования сплавов, содержащих алюминий, марганец и др. элементы, связывающие цирконий в хим. соединения, частицы которых, отличаясь иной кристаллической структурой, не могут выполнять роль центров кристаллизации. Для таких сплавов используют добавки 0,03—0,07% Ti и совместно 0,05% Ti и 0,005% В. В результате модифицирования значительно улучшаются мех. и технологические свойства сплавов, что связано с измельчением зерна. Модификаторами *меди сплавов* являются титан, цирконий, ванадий, бор и совместные добавки титана и бора или ванадия и бора. Степень измельчения зерна этими модификаторами зависит от марок медных сплавов и содержания в них железа. Лучшие модификаторы для оловянистой бронзы, латуни марки Л68, свинцовистой бронзы и бериллиевой бронзы — цирконий и бор (0,01—0,06% каждого), совместные добавки 0,10% Ti и 0,03% В или 0,04% V и 0,02% В. Наибольшей модифицирующей способностью обладают совместные добавки ванадия и бора, меньшей — совместные добавки титана и бора, бор и цирконий. Титан и вольфрам не оказывают влияния на структуру. Для *алюминиевых бронз и латуней*, содержащих железо, наилучшими модификаторами служат совместные добавки титана и бора, ванадий, бор, цирконий и титан (в порядке уменьшения модифицирующей способности). Количество модификатора, вводимого в расплав, обычно составляет 0,02—0,05%. Медные сплавы, не содержащие алюминий и железо, чаще всего модифицируют комплексными модификаторами титан и бор, ванадий и бор или цирконий и бор (суммарное количество 0,06—0,10%). Введение таких модификаторов позволяет устранить транскристаллическую структуру, что резко улучшает технологические свойства спла-

вов. Модификаторами *титана сплавов* служат бор, цирконий и совместные добавки титана и бора. Оптимальные концентрации модификаторов, при которых наблюдается сильное модифицирующее действие, составляют 0,05—0,10% Zr или В и 0,10—0,15% при комплексной добавке циркония и бора. В результате модифицирования мех. свойства сплавов вследствие получения равноосного зерна улучшаются. Самыми распространенными модификаторами *чугуна* служат ферросилиций и силикокальций. Для получения в чугуне *графита шаровидного* применяют магний, *лигатуры* магний — пикель, медь — магний, магний — никель — редкоземельные металлы, магний — кремний — железо, магний — кремний — железо — редкоземельные металлы и комплексные модификаторы, содержащие магний, кальций, барий, стронций, скандий, редкоземельные элементы, литий, кремний и др. модифицирующие и легирующие элементы. Количество модификаторов — 0,3—2,5% от массы жидкого металла. Комплексные модификаторы более эффективны, чем магний, и их введение в расплав сопровождается меньшим пироэффектом, металл не выплескивается из ковша. В пром. условиях находят применение ферроцерий и *мишметалл*, содержащий модификатор церий — лантан — неодим — редкоземельные металлы — железо и вводимый (0,05—0,3% от массы жидкого чугуна) для устранения отбела в отливках. Важное преимущество комплексных модификаторов, ферроцерия и мишметалла — отсутствие в *модифицированном чугуне* с шаровидным графитом т. н. «черных пятен», характерных для чугуна, модифицированного магнием. Все более широкое применение находят кальцийсодержащие комплексные модификаторы: кальций — барий — железо — магний — кремний, кальций — магний — барий — железо — марганец — редкоземельные металлы — кремний, кальций — магний — редкоземельные металлы — литий — кремний — железо, кальций — магний — редкоземельные металлы — кремний — железо и др. Целесообразность применения редкоземельных металлов состоит в

дом, что при полной или частичной замене ими магния во время модифицирования чугуна устраняется не только пироэффект, но и выделение дыма. В модифицированном чугуне, что особенно характерно для *высокопрочного чугуна с шаровидным графитом*, резко улучшаются механические свойства вследствие образования шаровидного графита. В пром. условиях для измельчения зерна, повышения прочностных и особенно пластических свойств стали служат добавки чистого кальция (0,15—0,25%), силикокальция и модификаторов: кальций — магний — кремний — железо, кальций — магний — редкоземельные металлы — крем-

ний — железо и др. (0,2—0,5% от массы жидкой стали). Находит применение и такой модификатор, как силикоминметалл, содержащий церий, лантан, неодим и редкоземельные металлы. Количество таких модификаторов, вводимых в расплав, равно $0,1 \div 0,3\%$ от массы жидкой стали. Все большее применение получают кальцийсодержащие модификаторы: иттрий — кальций — магний; литий — кальций — магний — редкоземельные металлы — кремний — барий — железо — алюминий; кальций — магний — барий — железо — марганец — редкоземельные металлы — кремний и др. (0,1—0,35% от массы жидкой стали). Применение комплексных модификаторов позволяет резко сократить количество *неметаллических включений*, измельчить зерно и повысить *пластичность* стали. Комплексные модификаторы получают сплавлением компонентов в электр. печах силикотермическим, углетермическим или алюмотермическим методом. Лигатуры на основе алюминия можно получить также электролизом в процессе получения алюминия, где высокие т-ры и перемешивание ускоряют растворение легирующего компонента (это позволяет совместить в одном аппарате — электролизере два технологических процесса: получение первичного алюминия и введение в него легирующего и модифицирующего компонентов). На М. м. разработаны ТУ 48—5—96—74, ГОСТы 1415—61 и 4762—49, заводские технические условия.

Лит.: Мальцев М. В. Модифицирование структур металлов и сплавов. М., 1964; Крещановский Н. С., Сидоренко М. Ф. Модифицирование стали. М., 1970; Леви Л. И., Мариенбах Л. М. Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов. М., 1970.

В. И. Напалков.

МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИТ МАТЕРИАЛЫ — пористые материалы, у которых размеры пор соизмеримы с размерами молекул. М. с. м. поглощают лишь те вещества, диаметры молекул которых меньше или равны диаметрам их пор, что и обуславливает применение таких пористых материалов в качестве материалов моле-

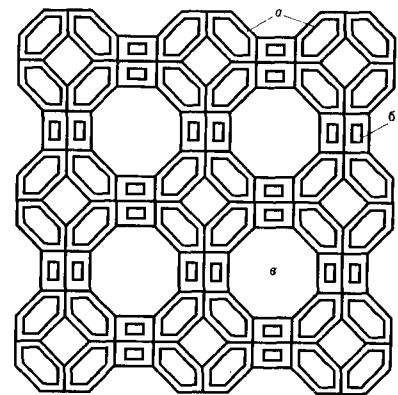
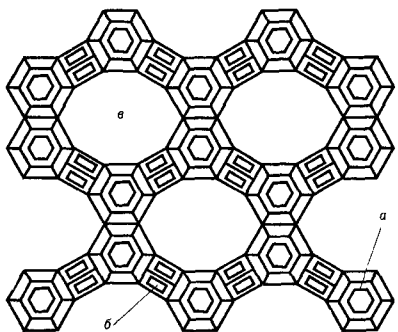


Рис. 1. Модель кристаллической структуры молекулярных сит материала (искусственного цеолита типа А): а — кубооктаэдр; б — тетрагональная призма; в — окно.

Рис. 2. Модель кристаллической структуры молекулярных сит материалов (искусственных цеолитов типов Х и Y): а — кубооктаэдр; б — гексагональная призма; в — окно.



кулярных сит. Наиболее распространенными материалами такого типа являются природные и синтетические цеолиты — минералы, представляющие собой пористые кристаллы алюмосиликатов, в состав к-рых входят также способные к ионному обмену катионы щелочных и щелочноземельных элементов, компенсирующие избыточные отрицательные заряды каркаса решетки. Молекулярноситовые св-ва природных цеолитов известны с 1925. Однако такие цеолиты широкого применения не получили: они обычно загрязнены другими минералами, месторождения их редки и небогаты. Произ-во синтетических цеолитов началось в 50-х гг. 20 в. в США, в 1961 — в СССР. На практике чаще всего используют синтетические цеолиты типов А, X и Y (буквами обозначают типы кристаллических решеток, отличающихся соотношением SiO_2 :

Адсорбционные свойства молекулярных сит материалов (синтетических цеолитов)

Компенсирующий катион и тип цеолита	Диаметр окон на цеолита, Å	Адсорбируемые вещества
KA	3	Вода
NaA	4	Вода, углекислый газ, сероводород, аммиак, метанол, этилен, пропилен, низшие диеновые и апетиленовые углеводороды нормального строения
CaA	5	Все вещества, адсорбируемые цеолитом NaA, и, кроме того, углеводороды и спирты нормального строения, содержащие до 20 атомов углерода в молекуле, окись этилена и диэтиламина
CaX	8	Все вещества, адсорбируемые цеолитами NaA и CaA, и, кроме того, изопарафиновые и ароматические углеводороды
NaX	9	Все вещества, адсорбируемые цеолитом CaX, и, кроме того, более сложные высокомолекулярные нафеновые и ароматические углеводороды

Примечание: K, Na и Ca — компенсирующие катионы цеолита; A и X — типы цеолита.

: Al_2O_3 и несколько иным расположением кубооктаэдров). Такие цеолиты обладают жесткой кристаллической решеткой со сферическими полостями (их диаметр 11,4—11,9 Å), соединенными между собой узкими отверстиями — т. н. окнами. Диаметр окон для разных ионообменных форм цеолитов равен $3 \div 9 \text{ Å}$ (рис. 1,2 с. 837) и зависит от размера ионообменного катиона в алюмосиликатном скелете. Цеолиты характеризуются большим относительным объемом, занимаемым межрешеточными полостями (до 55% общего объема цеолита). Каждый цеолит того или иного типа адсорбирует только определенные вещества, диаметры молекул которых меньше или равны диаметру окон (табл.).

Зная размеры молекул компонентов смеси, подбирают необходимый тип и ионообменную форму цеолита для выделения из нее того или иного компонента. Цеолиты термостойки до $t = 800\text{—}900^\circ \text{C}$, не взрывоопасны, не корродируют аппаратуру. Общий принцип синтеза цеолитов заключается в гидротермальной кристаллизации геля соответствующего состава. Разделительную способность цеолита улучшают заменой обменного катиона одного размера на катион другого размера или предварительной адсорбцией (предсорбцией) на цеолите большого количества полярных молекул, изменяющих размеры окон. Цеолиты применяют для глубокой осушки и тонкой очистки газов и жидкостей, разделения смесей, получения мономеров высокой чистоты. Кроме того, их используют для получения высококачественных бензинов, осушения холодильных смесей (фреонов), в качестве *геттеров* (для создания высокого вакуума), *катализаторов* и *катализаторов носителей* (см. также *Цеолиты*). Кроме цеолитов, к М. с. м. относятся пористые стекла, мелкопористые угли и некоторые металлы (палладий, тантал). Пористые стекла образуются при травлении спец. стекол к-тами, мелкопористые угли получают из пром. формальдегидных смол. Материалы такого типа имеют вид зерен, порошков, гранул, мембран или пленок. Пленки изготовляют из пористого стекла, кварда или металла

(палладия, тантала). Через мембраны из кварца хорошо проникает гелий, но не проникают водород и другие газы. Такие мембраны используют для выделения гелия из природного газа. Характерным св-вом палладия является его способность поглощать большое количество водорода (один объем палладия поглощает до 900 объемов водорода). Водород из смеси газов легко диффундирует через палладиевые пленки, что и используют для получения очень чистого водорода. Тантал быстро поглощает атомарный водород даже при комнатной т-ре, а мол. водород — при т-ре выше 250° С. Его применяют в качестве геттера в вакуумной технике. На синтетические цеолиты типов А и X разработаны МРТУ 6—01—906—66.

Лит.: Соколов В. А., Торочеников Н. С., Кельцев Н. В. Молекулярные сита и их применение. М., 1969; Неймарк Г. Е., Пionтковский М. А. Сита для молекул. К., 1966; Адсорбенты, их получение, свойства и применение. Л., 1971; Цеолиты и их применение. К., 1971. И. Е. Неймарк.

МОЛИБДАТЫ — соли молибденовой кислоты. Впервые соли такого типа синтезировал (1778—85) швед. химик К.-В. Шееле. Некоторые М. встречаются в виде минералов вульфенита $PbMoO_4$, повеллита $CaMoO_4$, ферримолибдита $Fe_2(MoO_4)_3 \cdot 7H_2O$ и др. М. получены для большинства металлов. Их подразделяют на средние, к-рые наиболее известны и изучены, — Li_2MoO_4 , Ag_2MoO_4 , Ti_2MoO_4 , $NiMoO_4$, $Sc_2(MoO_4)_3$, $Ce \times (MoO_4)_2$; основные, содержащие гидроксильную группу; оксомолибдаты, с большим молярным содержанием основного окисла, чем средние, — $3Y_2O_3 \cdot MoO_3$, $La_2O_3 \times MoO_3$; полимолибдаты, где молярное содержание окисла молибдена больше, чем в средних, — $Na_6Mo_7O_{24}$, $Lu_2Mo_4O_{15}$. Если в состав М. входят, кроме окисла молибдена, два основных окисла, то их наз. двойными — $AgYb(MoO_4)_2$, $TiPr(MoO_4)_2$, $Na_2Mg(MoO_4)_2$, $Li_2Zn \times (MoO_4)_2$, $K_5Er(MoO_4)_4$. Известны также гетерополимолибдаты, напр. $Na_4Si(Mo_3O_{10})_4 \cdot xH_2O$, $(NH_4)_6 \cdot [Te(MoO_4)_6]$, $K_3P(Mo_3O_{10})_4 \times mH_2O$, к-рые рассматриваются отдельно в ряду силикатов, фосфатов, теллуратов и др. М. лития, натрия и серебра кристаллизуются в кубической сингонии; М.

двухвалентных металлов и редкоземельных металлов от лантана до гольмия — в тетрагональной; М. алюминия, скандия, индия, иттрия, хрома, железа и редкоземельных металлов от эрбия до лютеция — в ромбической; молибдаты лантаноидов, а также $Ln(OH)MoO_4$ — в моноклинной сингонии. Двойные М. редкоземельных металлов от лантана до неодима и лития, натрия, калия и серебра имеют структуру *шеелита*. Двойные М. калия с др. редкоземельными металлами и иттрием, а также рубидиевые, цезиевые и таллиевые (с редкоземельными металлами от церия до тербия) — ромбические. Оксомолибдаты редкоземельных металлов состава $3Ln_2O_3 \cdot MoO_3$ кристаллизуются в кубической сингонии, а состава $2Ln_2O_3 \cdot MoO_3$ — в гексагональной, состава $Ln_2O_3 \cdot MoO_3$ (от европия до лютеция и иттрия) — в моноклинной, от лантана до самария — в тетрагональной сингонии. Многие М. полиморфны (см. *Полиморфизм*). М. щелочных металлов и аммония хорошо растворимы в воде, М. серебра, меди, ртути, двух-, трех- и четырехвалентных металлов в ней растворяются плохо. Под действием к-т М. разлагаются, образуя молибденовую к-ту; щелочи образуют с ними растворимые М. и гидроокиси соответствующих металлов. Большинство М. тугоплавки (1000° С и выше); до т-р плавления они, как правило, не разлагаются. М. щелочных металлов получают растворением трехокиси молибдена в растворах щелочей, М. серебра, таллия и ртути, а также двух- и трехвалентных металлов — взаимодействием их растворимых солей с М. щелочных металлов. Из расплавов можно выращивать *монокристаллы* М. по методу Чохральского или *кристаллизацией* из раствора в расплаве. М. многих металлов часто получают спеканием окиси молибдена с их окислами или карбонатами. Для получения монокристаллов двойных и основных М. редкоземельных металлов, используемых для кристаллографического исследования, нашел применение гидротермальный способ. М. щелочно- и редкоземельных металлов, а также сзин-

ца и кадмия и двойные М. применяют как рабочие среды и активаторы монокристаллов оптических квантовых генераторов, как *сегнетоэлектрические материалы* в микроэлектронике, как люминесцентные покрытия. М. меди, серебра, железа и алюминия входят в состав пром. катализаторов органического синтеза. М. свинца используют в качестве белого пигмента или добавки к цветным пигментам. М. кальция применяют для выплавки ферромolibдена. Материалы, содержащие оксомolibдаты европия, используют в стержнях водных ядер-

ных реакторов для поглощения нейтронов. Средний М. гадолиния является сегнетоэлектриком и поляризуется при $t \sim 159^\circ \text{C}$, его монокристаллы отличаются способностью переполяризовываться вследствие мех. воздействия. М. титана, циркония и гафния характеризуются ионнообменными св-вами.

Лит.: Перельман Ф. М., Зворыкин А. Я. Молибден и вольфрам. М., 1968; Каталог химических реактивов и высокочистых химических веществ. М., 1971; Мохосоев М. В. Химия редких элементов, ч. 1, Донецк, 1971; Майер А. А., Провоторов М. В., Балашов В. А. Система двойных молибдатов и вольфраматов редкоземельных и щелочных элементов. «Успехи химии», 1973, № 10.

А. М. Голуб, А. И. Перепелица.

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.

В двух томах, том 1.

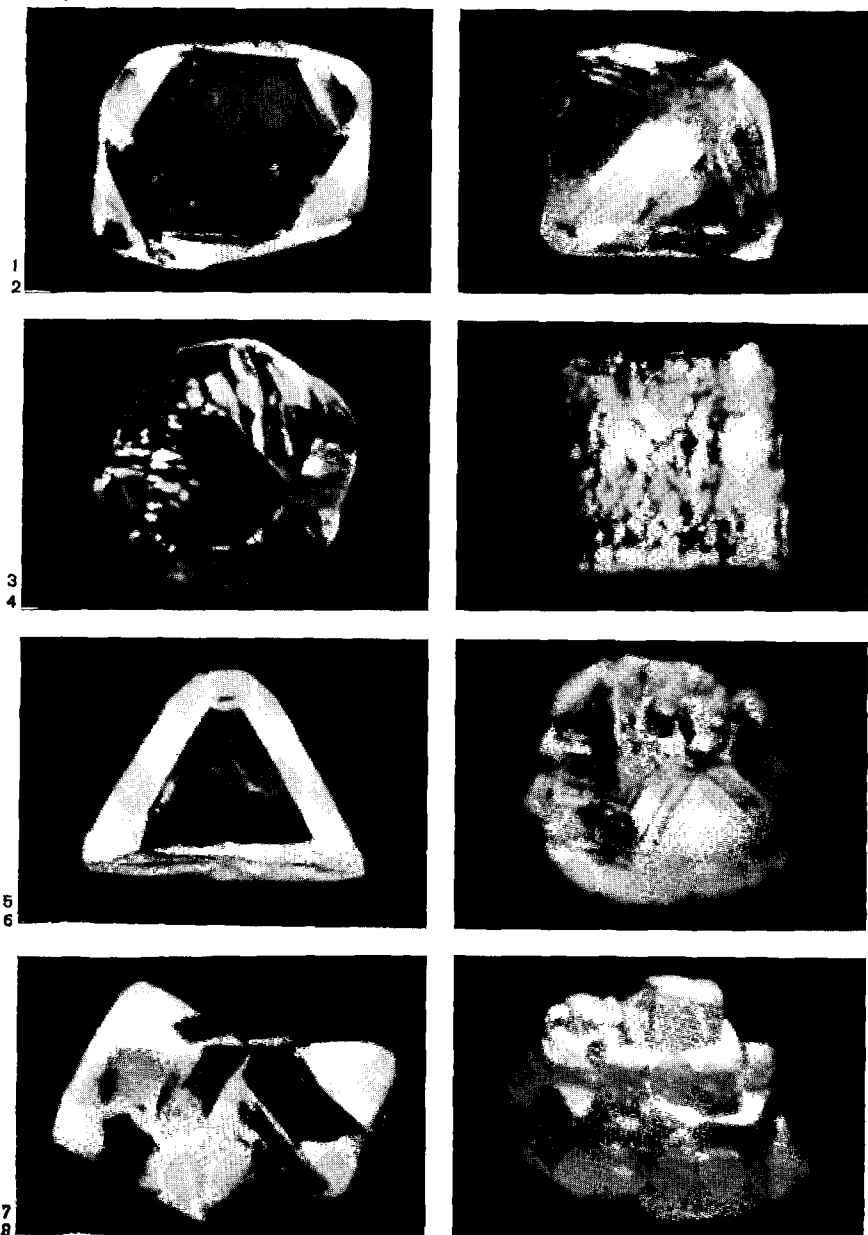
Адрес Главной редакции Украинской Советской Энциклопедии издательского объединения «Высшая школа»: 252650, Киев-30, ГСП, ул. Ленина, 51.

В томе помещено 206 среднетекстовых иллюстраций и 5 таблиц на отдельных листах. Бумага для текста изготовлена на фабрике им. Ю. Янониса. Таблицы напечатаны на Головном предприятии республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР.

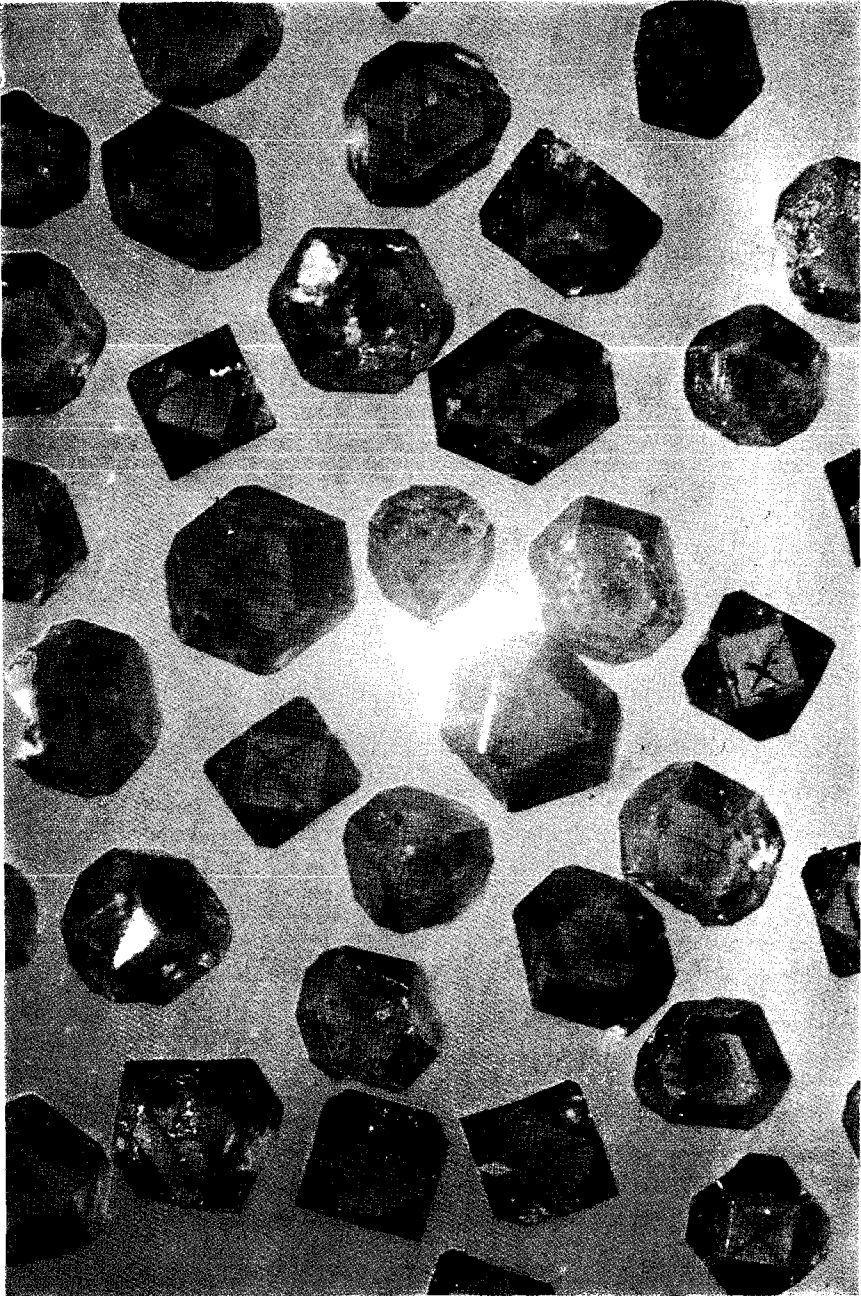
Иформ. бланк 2602.

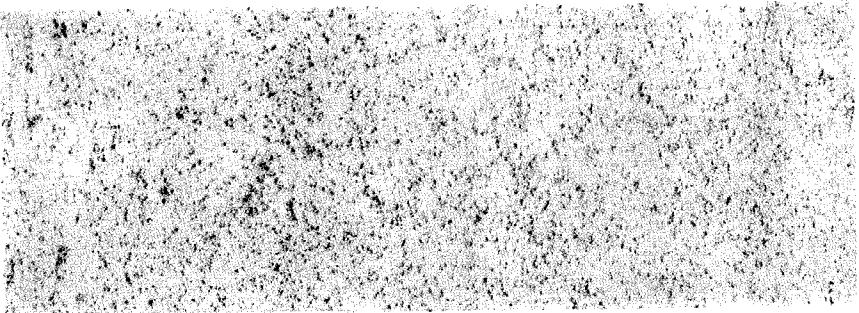
Том сдан в набор 16/XII 1976 г. Подписан к печати 23/V 1977 г. БФ 07396. Тираж 20 000. Формат $60 \times 90 \frac{1}{16}$. Физ. печ. листов 52,5+0,625 листа таблиц; учетно-издат. листов 80,88. Цена тома 5 руб. 56 коп. Зак. № 7-343.

Напечатано с матриц Головном предприятии на Харьковской книжной фабрике им. М. В. Фрунзе республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР. Харьков, Донец-Захаржевский, 6/8.

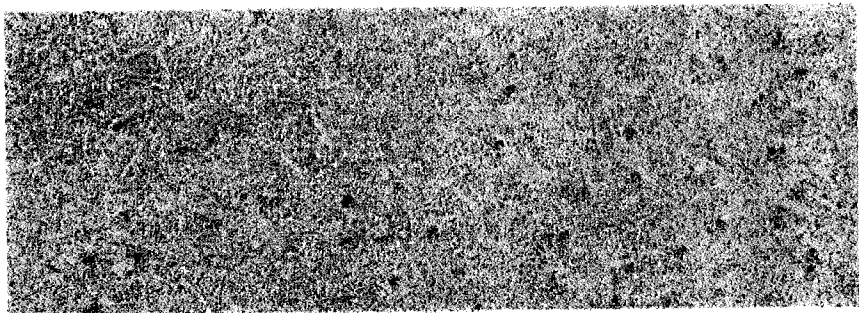


К статье Алмаз. Морфология кристаллов алмаза: 1 — октаэдр (Якутия); 2 — октаэдр-ромбододекаэдр (Якутия); 3 — додекаэдр (Украина); 4 — куб (Украина); 5 — двойник октаэдров (Украина); 6 — двойник октаэдров (Якутия); 7 — незакономерный сросток октаэдров (Украина); 8 — агрегат кубических кристаллов (Украина).

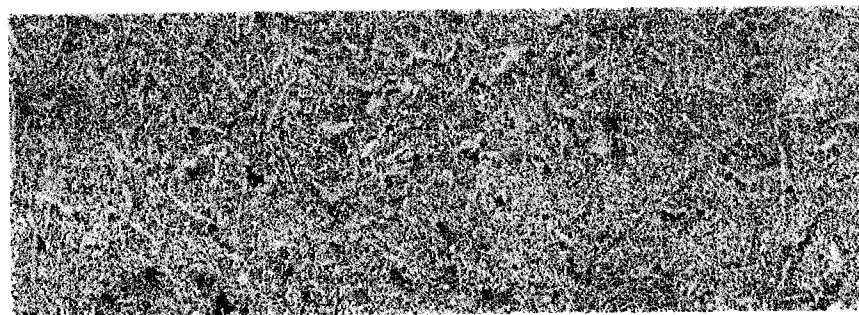




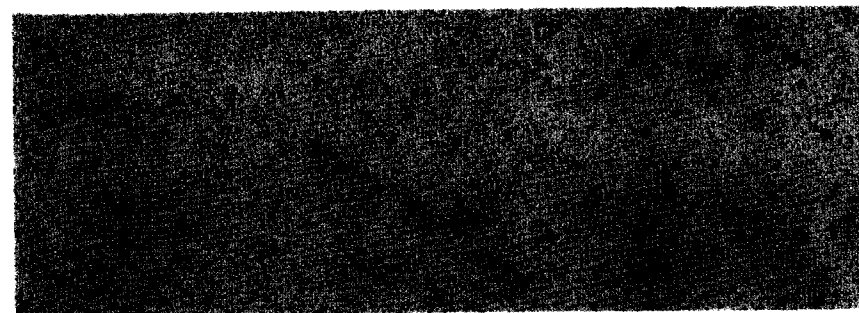
Балл 1



Балл 2

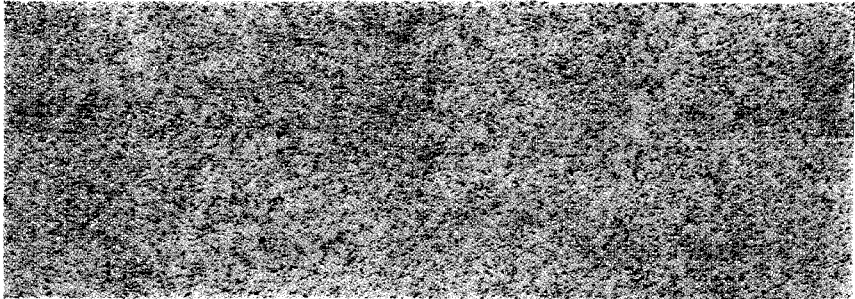


Балл 3

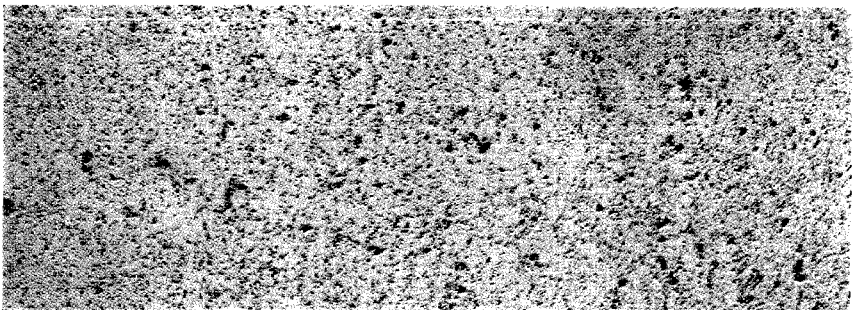


Балл 4

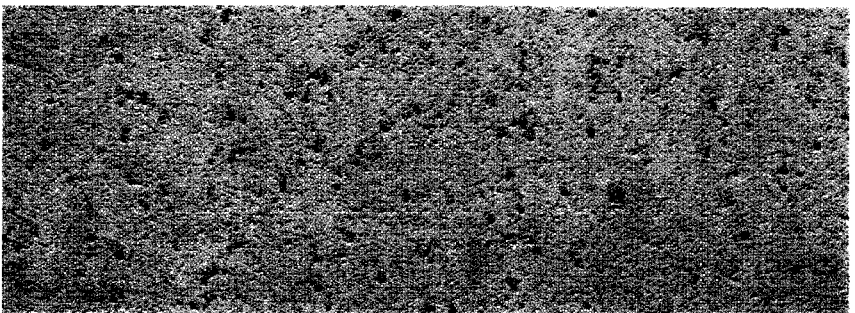
К статье Баумана метод. Шкала № 1 сернистых отпечатков (характерные части, масштаб 1 : 1) для поковок из слитков массой до 25 т.



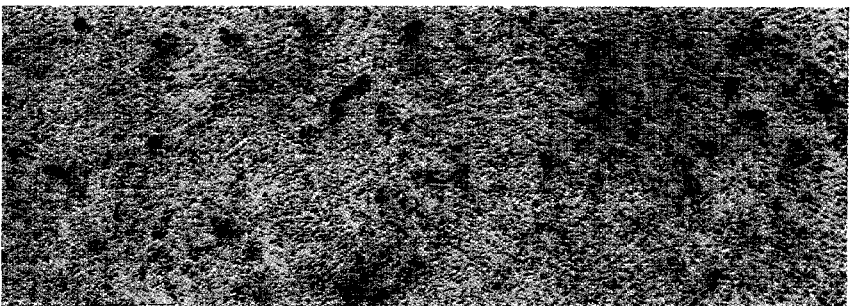
Балл 1



Балл 2

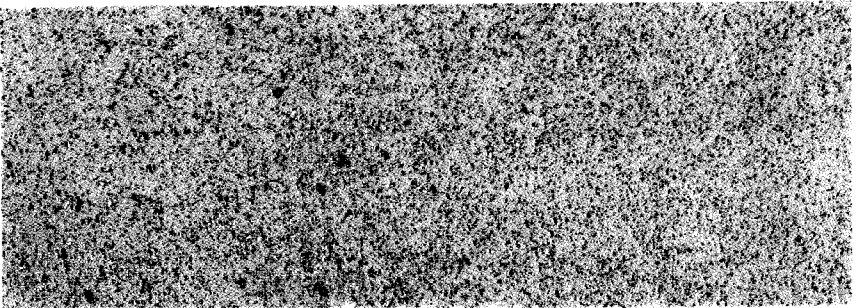


Балл 3

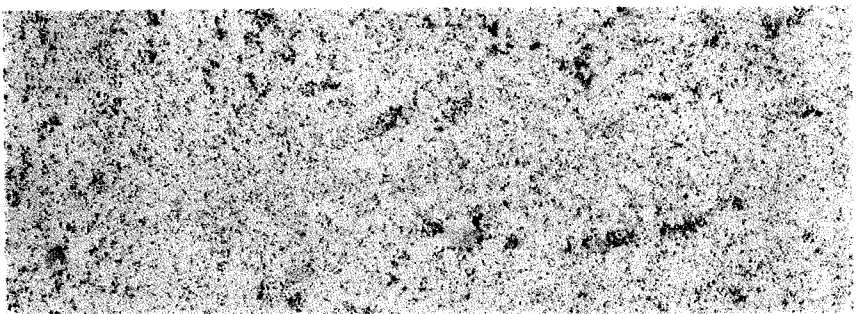


Балл 4

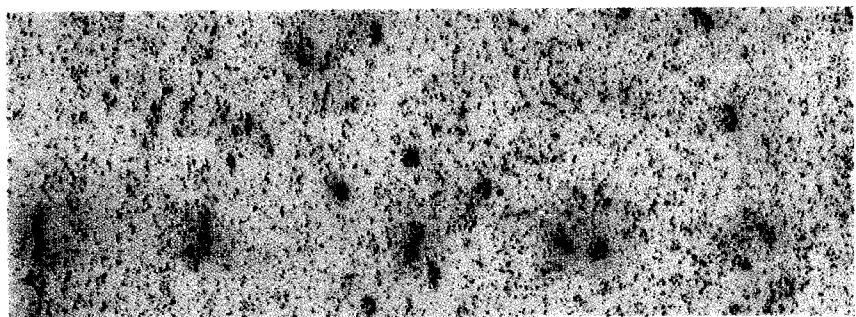
К статье **Баумана метод.** Шкала № 2 сернистых отпечатков (характерные части, масштаб 1 : 1) для поковок из слитков массой 26—50 т.



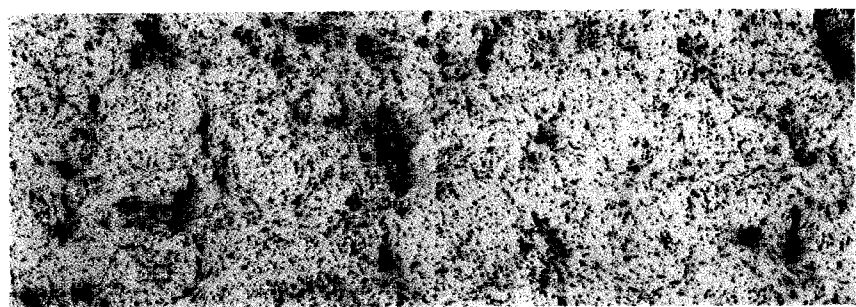
Балл 1



Балл 2

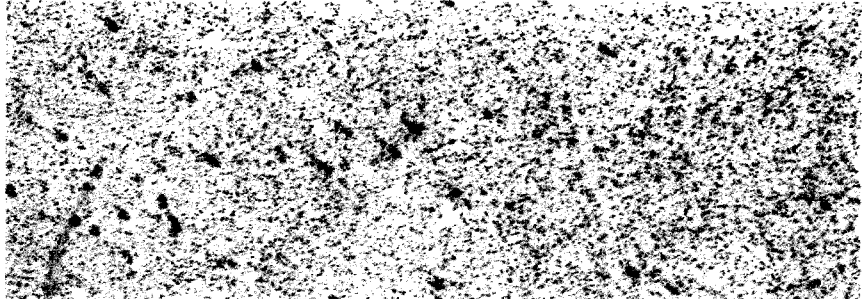


Балл 3

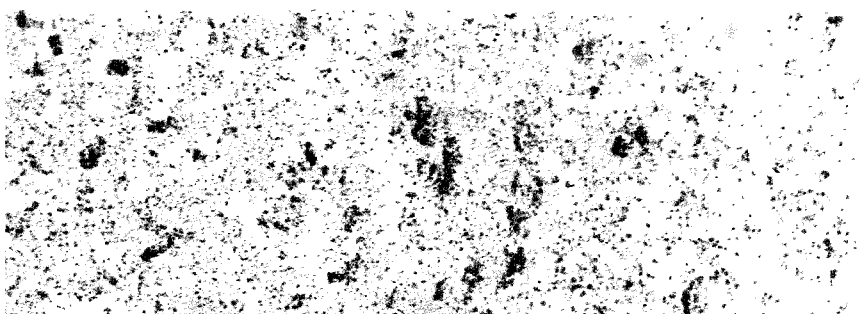


Балл 4

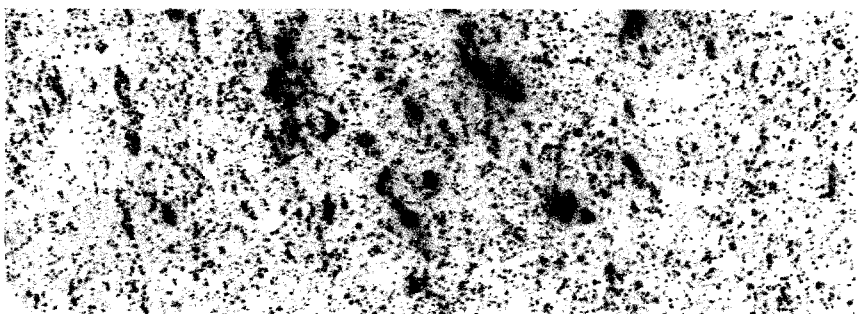
К статье Баумана метод. Шкала № 3 сернистых отпечатков (характерные части, масштаб 1 : 1) для поковок из слитков массой 51—130 т.



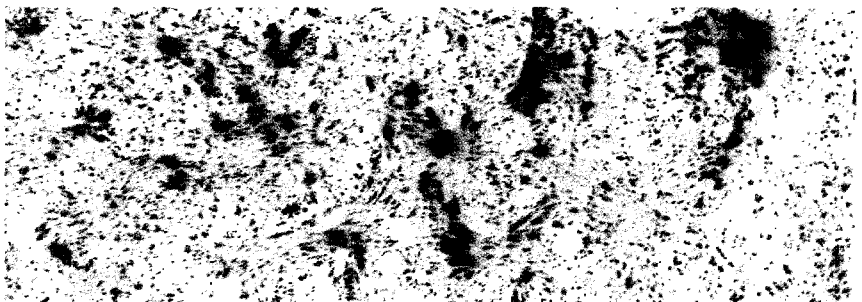
Балл 1



Балл 2



Балл 3

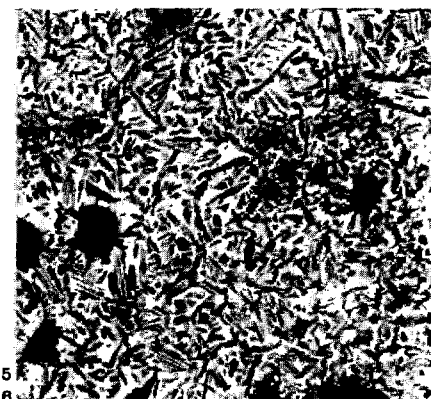
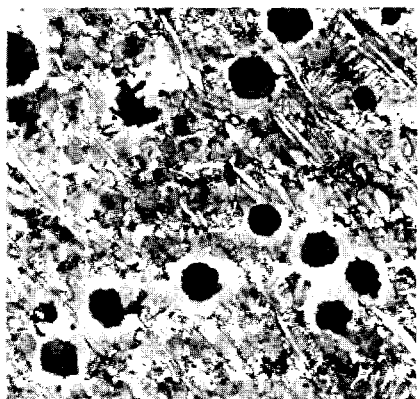
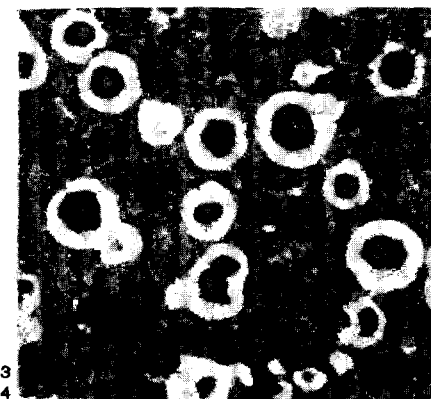
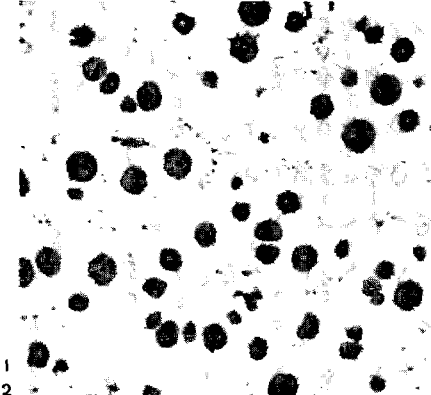


Балл 4

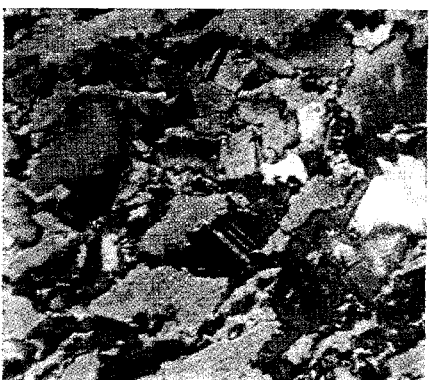
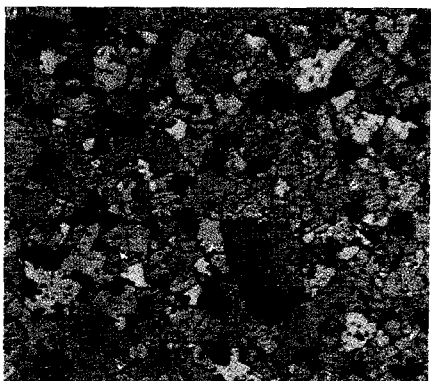
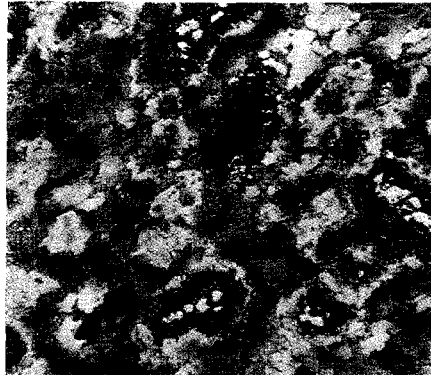
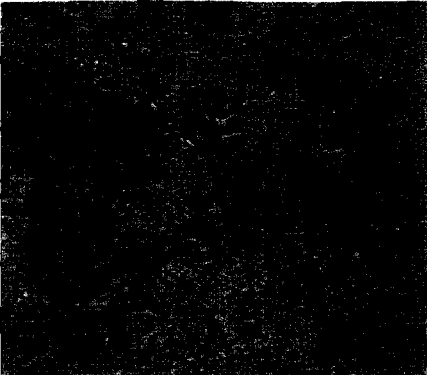
К статье Баумана метод. Шкала № 4 сернистых отпечатков (характерные части, масштаб 1 : 1) для поковок из слитков массой 131—200 т.



К статье Вакуумные покрытия. Микроструктура покрытий из титана: 1 — температура материала основы 573 К; 2 — температура материала основы 753 К; 3 — температура материала основы 873 К; 4 — температура материала основы 1053 К, $\times 340$.



К статье **Высокопрочный чугу́н с шаровидным графитом**. Микроструктура чугунов
 1 — ферритного, $\times 100$; 2 — ферритоперлитного, $\times 300$; 3 — перлитоферритного, $\times 100$;
 4 — перлитоцементитоферритного, $\times 100$; 5 — трооститоферритного, $\times 100$; 6 — перли-
 тоцементитного, $\times 300$.

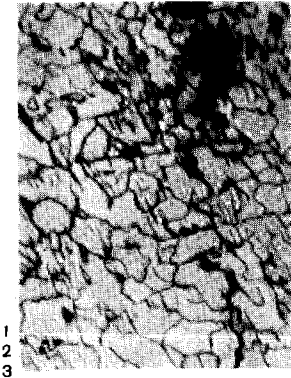


1
2

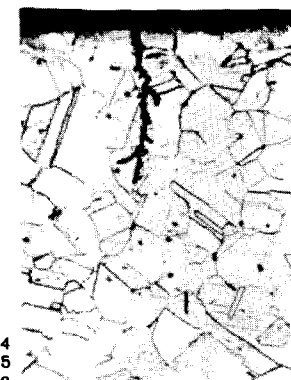
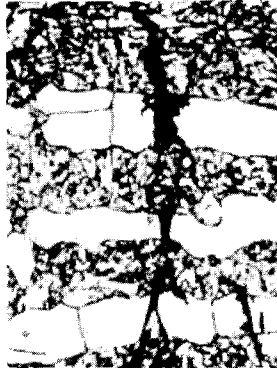
3
4

5
6

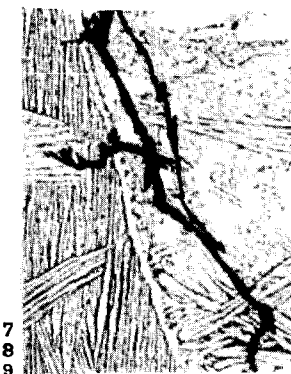
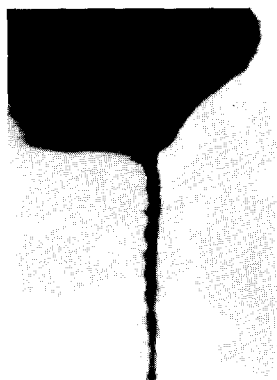
В статье **Композиционные материалы**. Структура композиционных материалов: 1 — конструкционный износостойкий материал (марки С-5) сталь — стекло (травление в насыщенном водном растворе гипосульфита + 10% пироксернистокислового натрия), $\times 500$; 2 — антифрикционный материал (марки ЛГ30ЖН1К) железо — никель — графит — сера (термическое травление), $\times 300$; 3 — антифрикционный материал на основе волокон меди, пропитанный антифрикционным сплавом (травление в насыщенном растворе гипосульфита + 10% пироксернистокислового натрия), $\times 150$; 4 — уплотнительный материал никель — слюда (травление в концентрированной азотной кислоте), $\times 200$; 5 — износостойкий керамико-металлический материал окись хрома — хром (термическое травление), $\times 300$; 6 — фрикционный материал на основе бронзы и железа с включениями окиси кремния и графита (травление в насыщенном растворе гипосульфита + 10% пироксернистокислового натрия), $\times 300$.



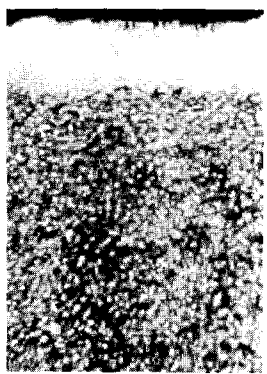
1
2
3



4
5
6



7
8
9



К статье **Коррозия металлов**. Виды коррозии: 1 — коррозионное растрескивание при растяжении армко-железа в 50%-ном растворе NH_4NO_3 при t -ре 100°C (разрушение межкристаллитное), $\times 200 \times 20$; 2 — коррозионное растрескивание при растяжении стали марки 1X17H2 в 42%-ном растворе MgCl_2 при t -ре 154°C (разрушение транс-кристаллитное), $\times 200 \times 20$; 3 — коррозионное растрескивание при растяжении стали марки 1X17H2 в 0,5%-ном растворе NaCl при t -ре 100°C , $\times 1000$; 4 — малоцикловая коррозионная усталость при кручении стали марки 1X18H9T в 3%-ном растворе NaCl при t -ре 230°C и давлении 40 ат , $\times 300$; 5 — обычная усталость при изгибе на воздухе стали марки 40X, $\times 134$; 6 — коррозионная усталость при изгибе в пресной воде стали марки 40X, $\times 134$; 7 — коррозионная усталость при изгибе титанового сплава типа ВТ в дистиллированной воде при t -ре 230°C и давлении 400 ат (разрушение транс- и межкристаллитное), $\times 150$; 8 — фреттинг-коррозия при циклическом изгибе стали марки Ст. 35 в морской воде, $\times 100$; 9 — коррозионная усталость при изгибе в морской воде стали марки ШХ15 (с белым слоем), $\times 300$.